ISSN 1992-5980




# ВЕСТНИК

## ДОНСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА




Том 11
№6 (57)
2011

# ВЕСТНИК
## ДОНСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА
2011

**Т.11 № 6(57)**

**Теоретический и научно-практический журнал**

**Рекомендован ВАК для публикаций основных научных результатов диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук (решение Президиума ВАК Минобрнауки России от 19 февраля 2010 года № 6/6)**

Издается с 1999 г.

*Выходит 8 раз в год*
Июль – сентябрь 2011 г.

***Учредитель*** – **Донской государственный технический университет**



Подписано в печать 30.09.2011.
Формат 60×84/8. Гарнитура «Tahoma». Печать офсетная.
Усл.печ.л. 23,3. Тираж 1000 экз. Заказ № 570. Цена свободная.

***Адрес редакции:***
344000, Россия, г.Ростов-на-Дону, пл.Гагарина, 1, тел. (863) 2-738-565.

***Адрес издательского центра:***
344000, г.Ростов-на-Дону, пл.Гагарина, 1, тел. (863) 2-738-741, 2-738-322.
*http://www.donstu.ru/vestnik*

***Регистрационное свидетельство ПИ №ФС 77-35012 от 16.01.09.***

# СОДЕРЖАНИЕ

# VESTNIK
## of DON STATE TECHNICAL UNIVERSITY
## 2011

**V.11 № 6(57)**

**Theoretical and scientific-practical journal**

**Recommended by the State Commission for Academic Degrees and Titles for publications of the thesis research results for Doctor's and Candidate Degree (the solution of the Presidium of the State Commission for Academic Degrees and Titles of the Russian Education and Science Ministry, February 19, 2010, №6/6)**

Founded in 1999

*8 issues a year*

July – September 2011

***Founder*** **– Don State Technical University**



***The issue is prepared by:*** G.A. Beshun, E.V. Kheigetyan, M.P. Smirnova (English version)

Passed for printing 30.09.2011.
Format 60X84/8. Font «Tahoma». Offset printing.
C.p.sh. 23,3. Circulation 1000 cop. Order 570. Free price.

***Editorial Board's address:***
Gagarin Sq. 1, Rostov-on-Don, 344000, Russia. Phone: (863) 273-85-65

***Publishing Centre's address:***
Gagarin Sq. 1, Rostov-on-Don, 344000, Russia. Phone: (863) 273-87-41, 273-83-22

*http://vestnik.donstu.ru*

***Registration certificate ПИ № ФС 77-35012 от 16.01.09.***

# CONTENT

# ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 622691.4:519.711.3

## ПРОБЛЕМЫ И МЕТОДЫ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ РАСПРЕДЕЛЁННЫХ ОБЪЕКТОВ

**Н.В. КУДИНОВ**
(Донской государственный технический университет)

*Рассмотрены проблемы, методы и результаты создания программ имитационного моделирования, а также их алгоритмического и программного обеспечения. Проблемы рассмотрены на примерах технологических распределённых объектов, таких как участок магистрального газопровода и многослойная структура материалов, в которой протекают тепловые процессы.*
***Ключевые слова:*** *распределённые объекты, имитационное моделирование, математическое моделирование, программы имитации.*

**Введение.** Решая многие задачи оптимизации, диагностики, управления технологическими процессами, необходимо получать подробную информацию об этом процессе. Как правило, наиболее важная для этих задач информация носит «предсказывающий» характер. Такая информация порождается в ходе имитации, она позволяет ответить на вопрос, как вёл бы себя объект управления и какие бы там протекали процессы, если определённым образом воздействовать на объект. Обладая такой информацией, можно строить эффективные и близкие к оптимальным технические системы.

Имитация в технических системах находит применение в информационно-управляющих диалоговых системах, которые сигнализируют и блокируют последствия «ошибочных» действий оператора технологического процесса.

**Имитационное моделирование в информационной поддержке технологических процессов.** Особую роль имитация технологических процессов приобретает, когда поведение управляемой системы чрезвычайно сложно предсказать. Одной из таких систем является система распределенных технологических объектов (РТО). Современные специализированные программные пакеты справляются с анализом и синтезом систем РТО на основе их статических характеристик. Непосредственно РТО – широкое понятие, описывающее технологические агрегаты, имеющие дело с распределенной в пространстве средой, в то же время под РТО иногда понимают комплекс технологических объектов, пространственно распределённых по территории производства. В дальнейшем примем первый смысл этого выражения. Наиболее сложные математические модели получаются для распределённых технологических объектов, в которых процессы протекают не только во времени, но и в пространстве. К ним относятся: трубчатые и колонные реакторы, печи, накопители газа (газгольдеры), газопроводы, транспортеры, механические фильтры и фильтруемый материал, среды передачи информации электромагнитными волнами. Распределённость учитывается в математических моделях технологических объектов, когда объем, занимаемый рабочей средой, достаточно большой по сравнению с величинами локальных неоднородностей (волн) в переходных процессах.

Имитационное моделирование как надстройка над математическим моделированием применяется в тех случаях, когда методы аналитического вывода решения оказываются ограничены выбором пространств и метрик, а также необходимой строгостью выводов и доказательств. Суть имитационного моделирования заключается в образовании таких информационных связей (рис. 1) в уравнениях, которые бы имитировали связи в моделируемом объекте другой природы,

например энергетические, массовые и др. Помимо связей в имитационных моделях информация обрабатывается в узлах по более сложным законам, задаваемым уравнениями, иногда дифференциальными. Наиболее просто имитационная модель реализуется в виде программы на языке высокого уровня или как структурно-блочная схема в среде специализированных пакетов (AnySYS, FlowVision, COMSOL, Simulink, и т. д.).

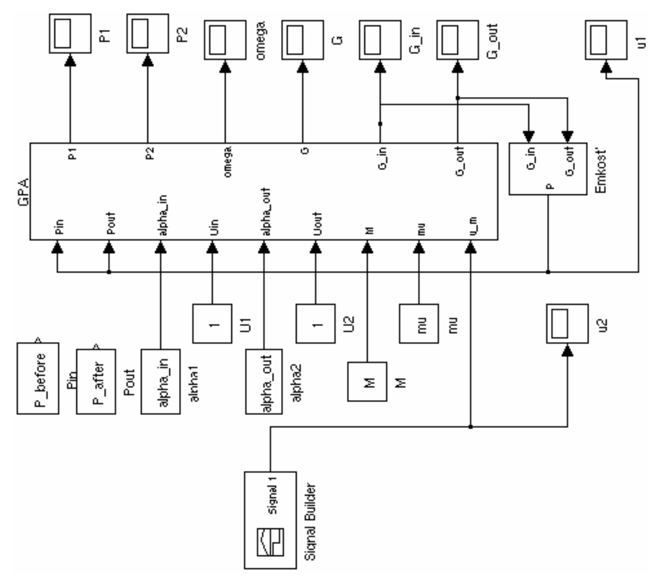



Рис. 1. Имитационная модель газоперекачивающего агрегата в среде пакета Simulink

**Проблемы имитационного моделирования.** В имитационном моделировании применяются системы методов численного решения, применение которых, в свою очередь, связано с принятием системы обоснованных допущений, позволяющих исследование объекта и процессов, там протекающих, свести к исследованию функций и числовых рядов. Вариации допущений в строну усиления дают простые математические модели, позволяющие предсказать поведение объекта за небольшое число вычислительных операций. Ослабляя допущения, в ходе аналитического моделирования исследователь-разработчик получает более точную модель. Такие модели описываются более сложными системами уравнений, требующими большего количества вычислений. Предсказывающая способность таких формул по отношению к процессу будет лучшей. Поэтому на этапе построения вычислительных формул и самой имитационной модели стоит проблема принятия системы допущений, которая, с одной стороны, позволит получить нужную информацию, а с другой стороны, позволит рационально организовать вычислительный процесс.

При моделировании многих распределённых технологических объектов принимают допущения, которые условно можно разделить на необходимые и дополнительные. К необходимым можно отнести параметры функций состояния (интенсивности их изменения известны только на некоторых границах или сечениях); среда в технологическом аппарате локально ведёт себя во всех точках достаточно большой области одинаково, а погрешности математических аппроксимаций и пространственно-временной дискретизации качественно не изменяют поведение модели по отношению к моделируемому объекту. Эти допущения позволяют выписать математическую модель. Допущения, принимаемые для упрощения математической и имитационной модели и, как следствие, для уменьшения объёма вычислений, можно отнести к дополнительным. Описанные зависимости поясняются далее.

Желание исследователя сделать моделирование максимально точным приводит к уменьшению глубины допущений, принимаемых при математическом моделировании, что приводит к

появлению сложностей математической и алгоритмической природы. Большое количество допущений позволяет получать простые связи между причиной и следствием выраженными в виде алгебраических уравнений; при меньшем числе допущений получают математические модели в виде системы дифференциальных уравнений. Невозможность в большинстве случаев принять допущение о сосредоточенности процессов в распределённых объектах приводит к математическим моделям в виде систем дифференциальных уравнений в частных производных; при ещё меньшей глубине допущений можно получить интегродифференциальные и статистические уравнения. Естественно, что с первыми объектами – алгебраическими уравнениями – проще иметь дело, а дифференциальные уравнения в частных производных вызывают определённые математические и алгоритмические сложности, особенно когда некоторые математические зависимости, связывающие параметры среды – газа, жидкости – являются нелинейными. Ярким примером может служить модель участка магистрального газопровода (УМГП), в которой учёт распределённости процессов в пространстве и времени – естественная необходимость, а допущения, которые рационально принять: течение осесимметричное, допустимо радиальное усреднение параметров при турбулентном движении (рис. 2) [1]. В этом случае в качестве модели выступает «компактный» математический объект – система дифференциальных уравнений в частных производных [2, 3]:

$$
\begin{cases}
\dfrac{\partial p}{\partial t} = -\left(1+\dfrac{2}{i}\right)\dfrac{\partial p}{\partial x}v - \dfrac{\partial v}{\partial x}p - \dfrac{8\mu\lambda}{iRD}\dfrac{pv^3}{T} - \dfrac{8A}{iD}(T-T_{cp});\\
\dfrac{\partial v}{\partial t} = -\dfrac{\partial v}{\partial x}v - \dfrac{\partial p}{\partial x}\dfrac{RT}{\mu p} - \dfrac{4}{D}\lambda v|v|;\\
\dfrac{\partial T}{\partial t} = -\dfrac{8\mu}{iRD}\lambda v^3 - \dfrac{8AT}{iDp}(T-T_{cp}) - \dfrac{\partial T}{\partial x}v - \dfrac{2}{i}\dfrac{\partial p}{\partial x}\dfrac{Tv}{p}.
\end{cases} \tag{1}
$$

В (1) $t$, $x$ – независимые аргументы дифференциального уравнения – время и пространственная координата; $p$, $v$, $T$ – неизвестные функции двух координат: давление, скорость и температура; $\mu$, $R$, $I$ – параметры транспортируемого газа: молярная масса, универсальная газовая постоянная, количество степеней свободы молекулы газа; $\lambda$, $D$ – параметры, характеризующие трубопровод: коэффициент трения (параметр Дарси – Вейсбаха), диаметр поперечного сечения газопровода; $T_{ср}$ – характеристика среды залегания трубопровода – температура, характеризующая интенсивность потери тепла и, как следствие этого, – полной энергии газа.

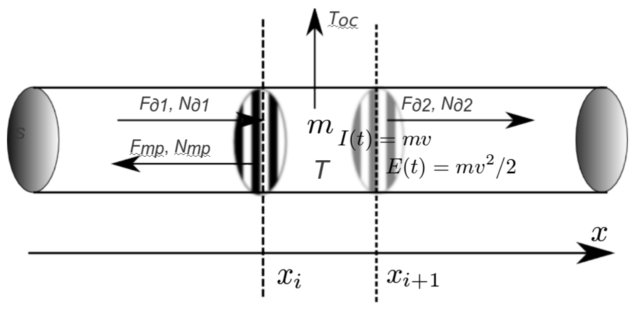



Рис. 2. Расчетная схема взаимодействия частиц газа

Дальнейшие допущения ещё больше огрубляют математическую модель. Предположение об изотермическом поведении газа при транспортировке даёт модель (2), а исключение из модели динамических процессов даёт модель статики (3):

$$\begin{cases} \dfrac{\partial p}{\partial t} = -\dfrac{\partial p}{\partial x} v - \dfrac{\partial v}{\partial x} p \\ \dfrac{\partial v}{\partial t} = -\dfrac{\partial v}{\partial x} v - \dfrac{\partial p}{\partial x} \dfrac{RT}{\mu p} - \dfrac{4}{D} \lambda v|v|; \end{cases} \qquad (2)$$

$$\begin{cases} \dfrac{dp}{dx} = -\dfrac{4\lambda\mu\, pv|v|}{D(RT-\mu v^2)}; \\ \dfrac{\partial v}{\partial x} = \dfrac{4\lambda\mu\, v^3}{D(RT-\mu v^2)}. \end{cases} \qquad (3)$$

На выборе системы допущений сложности и проблемы имитационного моделирования не заканчиваются. Необходимо исследование математических моделей и решение уравнений, их представляющих. Количество итераций вычислительного алгоритма, как правило, велико и зависит от требуемой точности и от пространственно-временных масштабов моделируемого объекта. Данную проблему осложняет ещё одно «необычное» свойство большинства исследуемых процессов – жёсткость. Дифференциальные уравнения, особенно учитывающие несколько видов взаимодействий (например, химические и механические), часто имеют жёсткие решения [4]. Жёсткость – возможность возникновения в модели взаимодействующих процессов с существенно разными скоростями протекания. Область решения более простых алгебраических уравнений может быть «сильно овражистой», что может потребовать большого количества итераций для численного решения. Жёсткость математической модели транспортировки газа по участку магистрального газопровода иллюстрируется спектральными диаграммами линеаризованного приближения математической модели (2). На графиках рис. 3 видно расслоение мод на быстрые и медленные.

Неоднозначен и слабо формализован подход к дискретизации распределённых объектов при аппроксимации дифференциальных уравнений в частных производных (ДУЧП). Возможен подход с полной аппроксимацией. В результате получается система алгебраических уравнений большой размерности, описываемая разреженными матрицами. Желание авторов программ максимально использовать хорошо зарекомендовавшие себя разностные методы приводит к частичной аппроксимации ДУЧП по одной из координат, например пространственной, в результате получается система дифференциальных уравнений большой размерности, решаемая в дальнейшем такими методами, как метод Рунге – Кутты, Адамса – Крылова, Милна. Такой подход называется методом прямых или в силу поэтапного перехода – полудискретизацией.

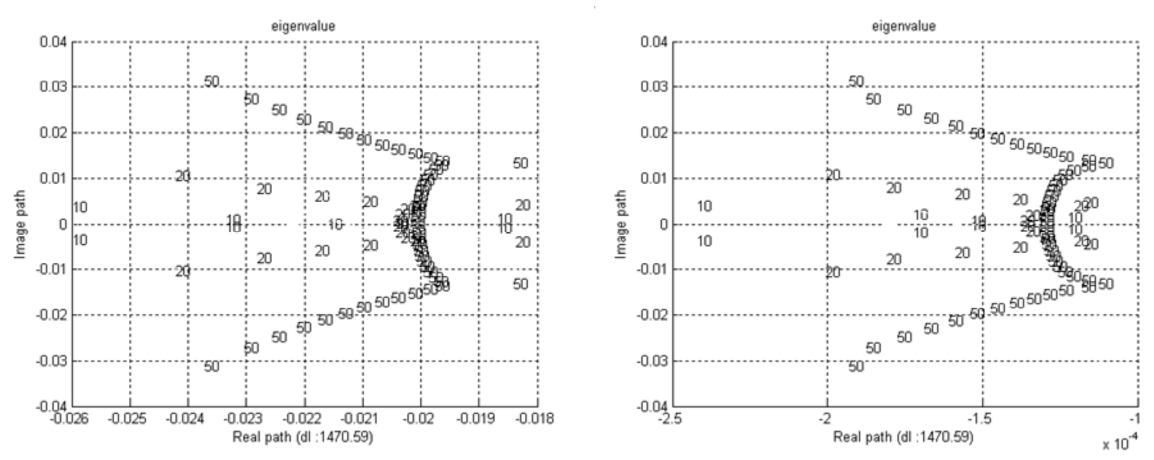



Рис. 3. Расположение мод линеаризованной модели на комплексной плоскости. Цифрами показаны моды, полученные дискретизацией по пространству на соответствующее количество элементов – ячеек

Для вывода, построения алгоритмов моделирования строятся вычислительные формулы, основанные на той или иной математической модели. Для вывода вычислительных формул используется прямая ячеечная алгебраическая аппроксимация дифференциальных уравнений. Она применяется в методах конечных разностей, конечных объёмов (рис. 4) [5–7], конечных элементов и в подавляющем большинстве случаев нарушает интегральный баланс массы, энергии и импульса. Нарушение баланса можно компенсировать построением неравномерной сетки (рис. 5). Этот вопрос подробно исследовался в кандидатской диссертации автора [8] и других публикациях [9] о модели участка магистрального газопровода. Для уравнения неразрывности (4) был получен закон формирования пространственной сетки (5):

$$p_{i+1}\cdot v_{i+1} = p_{i-1} v_{i-1} \; ; \tag{4}$$

$$l_{i+1} = l_i + \frac{d\cdot\left(R\cdot\theta - \mu\cdot v_i^2\right)}{4\cdot\lambda\cdot\mu\cdot v_i\cdot|v_i|}\cdot\left(\frac{p_{i-1}}{p_i} - \frac{v_{i-1}}{v_i}\right). \tag{5}$$

0 L Непрерывный параметр длины

0 ..... $i-1$ $i$ ..... $n$ $x$ Дискретный номер конечного объёма

$i-1/2$ $i+1/2$

границы $i$-го конечного объема

Рис. 4. Схема полудискретизации пространства для моделирования участка магистрального газопровода методом конечных объёмов

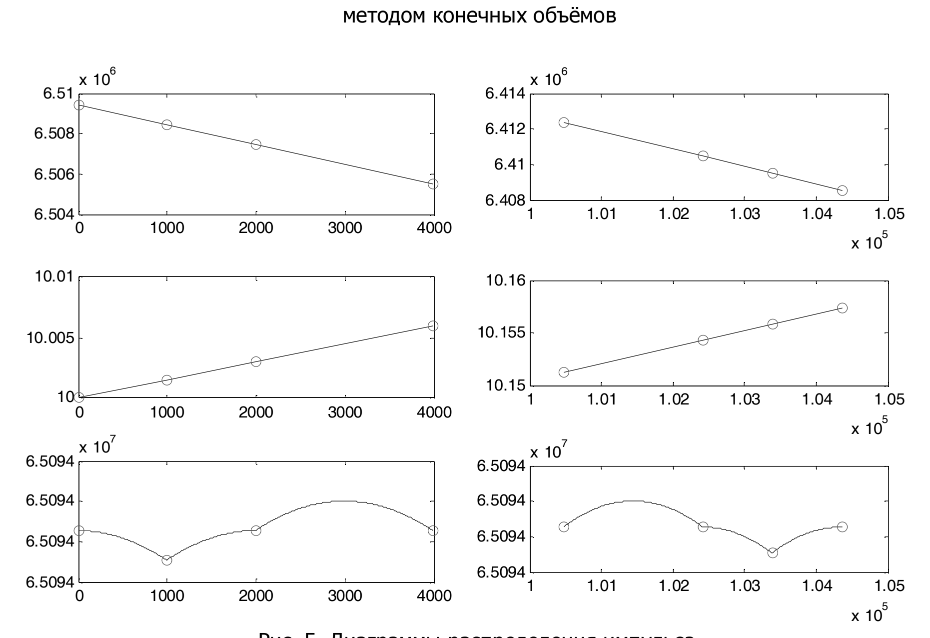



Рис. 5. Диаграммы распределения импульса при дискретизации параметров в уравнении неразрывности

Сохранение подобного баланса называют консервативностью [6]. Одним из способов получения консервативных разностных схем и моделей является непосредственная аппроксимация (по квадратурным формулам) интегралов энергий исходной математической модели.

Для повышения точности моделирования используют разностные схемы повышенного порядка (второго и выше) точности. Такие схемы неплохо моделируют медленноменяющиеся колебания и «гладкие» зависимости времени. При попытке воспроизвести резкие изменения в модели такие разностные схемы ведут себя излишне колебательно, порождая паразитные гармоники. Для решения этой проблемы возвращаются к разностным схемам первого порядка: правосторонним и левосторонним, а общее решение этой проблемы приводит к разностным схемам со сложным переключательным шаблоном, называемым схемой с уменьшением полной вариации (TVD – Total Variation Diminition). Выражения, которые их описывают, называются лимитерами. В современных научных работах по моделированию течений различной природы исследовано множество лимитеров (limiter): «min-mod», «van Leer», «superbee» и др. [10].

Замена разностного шаблона пространственной аппроксимации с правостороннего на левосторонний шаблон первого порядка (две точки) сильно сказывается на решениях обыкновенного уравнения переноса. Для этого уравнения противопотоковые дают устойчивое решение [6], что адекватно физике процесса. При выполнении шагов по времени в разностных выражениях соблюдается такая же зависимость. Неявные разностные схемы абсолютно устойчивы при любых шагах численного метода. Явные разностные схемы устойчивы условно, т. е. величина шага ограничена условием Куранта – Фридрихса – Леви (КФЛ), что обосновывается спектральным анализом, при этом условие КФЛ называется спектральным условием Неймана [6, 7]. В кандидатской диссертации [7] подробно изучены спектры линеаризованного приближения математической модели магистрального газопровода, которые показывают предпочтительность центрально-разностной схемы аппроксимации и левосторонней схемы.

**Программное обеспечение, поддерживающее исследования.** Разработано программное обеспечение (ПО), осуществляющее моделирование участка магистрального газопровода с парой компрессорных станций. ПО представлено в виде законченного модуля – приложения ОС Windows и программы для среды пакета Matlab, которая в силу удобного синтаксиса системы Matlab используется как экспериментальный образец, в котором легко перестраиваются информационные связи, в связи с чем удобно получить модель кольцевого газопровода, энергия газа в котором поддерживается одной компрессорной станцией. Вычислительные выражения получены нами методом полудискретизации исходной математической модели [11].

Для сравнительного анализа подходов к моделированию была разработана программа моделирования одномерного температурного поля набора слоёв материалов методом элементарных энергетических балансов (рис. 6). Программа обладает графическим интерфейсом и работает под управлением системы Matlab, используя среду GUIDE [12, 13].

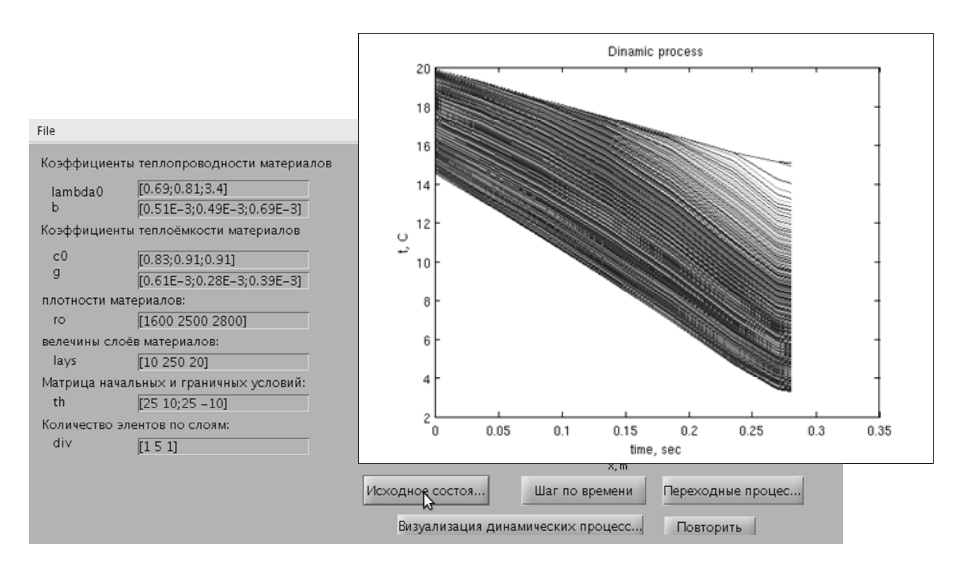



Рис. 6. Интерфейс программы моделирования одномерного температурного поля

В ходе исследования проблем и походов к моделированию распределённых объектов была поставлена задача подробного исследования отдельных этапов моделирования. В соавторстве со студентом Д. Лауром, выполняющим дипломный проект, был разработан программный комплекс исследования разностных аппроксимаций распределённой модели участка газопровода (рис. 7). Допускается ввод произвольных разностных шаблонов и выполнение моделирования по временным шагам.

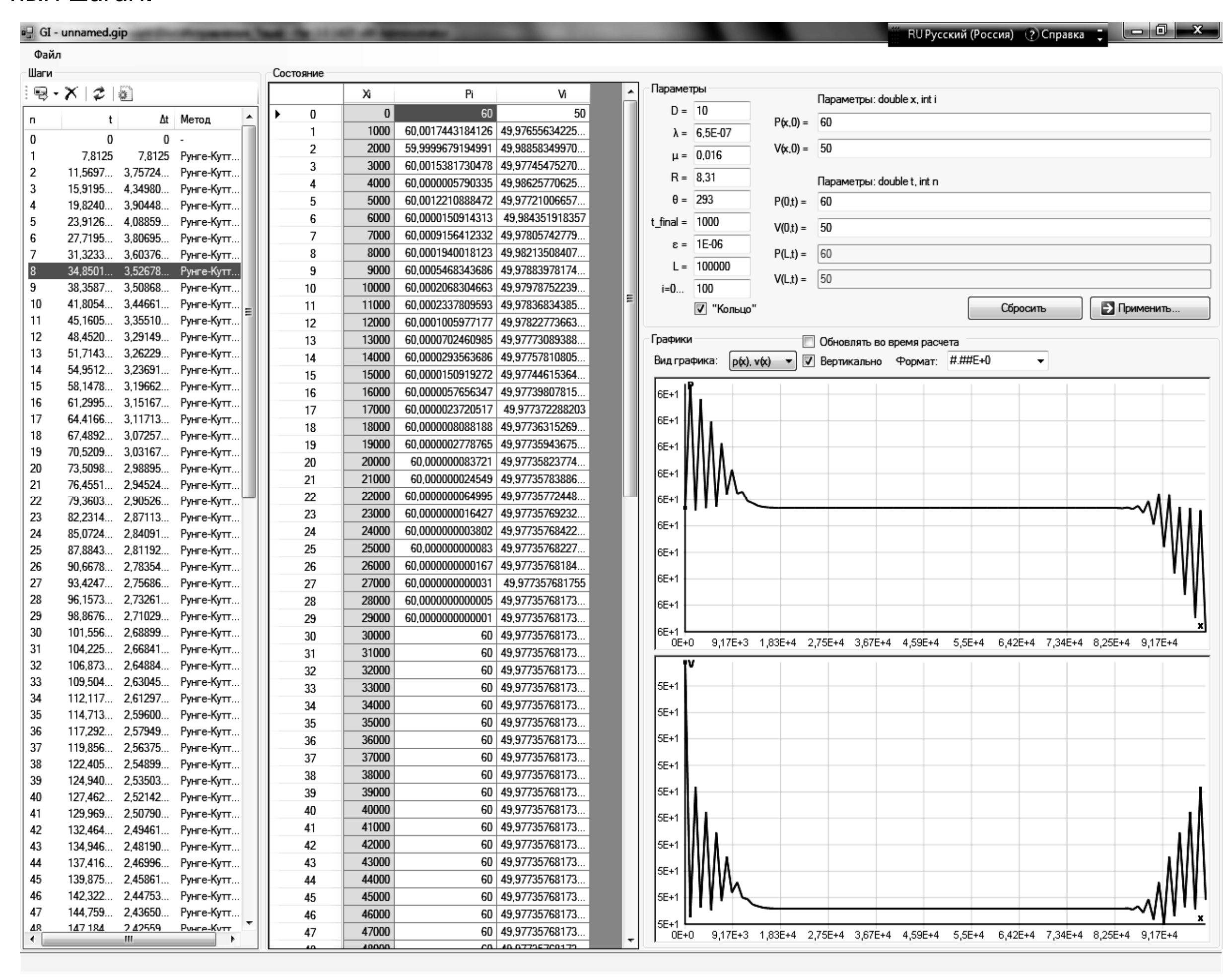



Рис. 7. Интерфейс интегрированной среды исследования разностных аппроксимаций

Отдельным направлением ведётся разработка программы имитационного моделирования типовых распределённых объектов, которая нужна для того, чтобы верифицировать алгоритмы моделирования и проверить адекватность моделей технологическим объектам [14].

В ходе разработки были выработаны принципы построения программ имитационного моделирования распределённых технологических объектов общей природы. Были выделены слои описания моделей, опубликована иерархия классов и архитектура взаимодействия объектов в ходе имитационного моделирования [8, 15].

**Заключение.** В рамках исследования построены алгоритмы, позволяющие формировать пространственную сетку сбалансированной аппроксимации для шаблонов разностных схем с произвольной структурой; разработаны и протестированы алгоритмы численной интерполяции, интегрирования и дифференцирования, позволяющие моделировать транспортировочные процессы на разнесенных сетках произвольными разностными шаблонами. Разработанные алгоритмы позволяют имитационными методами подобрать рациональный по точности и сходимости разностный аппроксимирующий шаблон.

**Библиографический список**

1. Селезнёв В.Е. Математическое моделирование трубопроводных сетей и систем каналов: методы, модели и алгоритмы / В.Е. Селезнёв, В.В. Алёшин, С.Н. Прялов; под. ред. В.Е. Селезнёва. – М.: МАКС Пресс, 2007. – 695 с.

2. Нейдорф Р.А. Моделирование и имитация процессов транспортировки газа магистральными газопроводами / Р.А. Нейдорф // Математические методы в технике и технологиях – ММТТ-15: сб. тр. междунар. науч. конф. 4–6 июня 2002 г. В 10 т. Т. 8. Секция 8, Тамбов, 2002. – С. 128–132.

3. Нейдорф Р.А. Моделирование динамики магистральных газопроводов с учётом тепловых процессов / Р.А. Нейдорф, В.Е. Бачурин // Математические методы в технике и технологиях – ММТТ-16: сб. тр. XVI междунар. науч. конф.: в 10 т. Т. 3. Секция 3 / СПб. гос. технол. ин-т. – СПб.: Изд-во СПбГТИ(ТУ), 2003. – С. 183–186.

4. Современные методы решения обыкновенных диффернциальных уравнений / под ред. Дж. Холла, Дж. Уатта. – М.: Мир, 1979.

5. Пантакар С.В. Численные методы решения задач теплообмена и динамики жидкости / С.В. Пантакар; под ред. В.Д. Виленского. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 368 с.

6. Самарский А.А. Математическое моделирование: идеи, методы, примеры / А.А. Самарский, А.П. Михайлов. – 2-е изд., испр. – М.: Физматлит, 2002. – 320 с.

7. Математическое моделирование гидрометеорологических процессов. [Электрон. ресурс]. Режим доступа: http://pages.rshu.ru/mamop/MaMOP.html (дата обращения: 15.05.2009).

8. Кудинов Н.В. Методы обработки информации для задач управления переходными процессами в магистральных трубопроводах: дис. ... канд. техн. наук. – Ростов н/Д, 2006. – 215 с.

9. Kudinov N. An Application of Integral-Interpolation Method for Sampling of Nonlinear Gas Transportation Models / N. Kudinov, R. Neydorf, E. Teterevleva // Paper of Workshop Odborníkov z Univerzít, Vysokých Škôl a Praxe v Oblasti Automatizácie a Riadenia, Technická univerzita v Košiciach 16-18 февраля 2011 г., Stará Lesná.

10. Галанин М.П. Нелинейная монотонизация схемы К.И. Бабенко («квадрат») для уравнения переноса / М.П. Галанин, Т.Г. Еленина [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: http://www.keldysh.ru/papers/2002/prep4/prep2002_4.html (дата обращения: 03.04.2011).

11. Кудинов Н.В. Метод конечных объёмов в применении к задачам моделирования трубопроводного транспорта газа / Н.В. Кудинов // Системный анализ, управление и обработка информации: тр. 1-го междунар. семинара студентов, аспирантов и учёных. – Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2010. – С. 74–79.

12. Кудинов Н.В. Программное обеспечение распределённого моделирования нестационарного температурного поля в локальной компьютерной сети / Н.В. Кудинов, В.А. Бек // Вестн. Донск. гос. техн. ун-та. Спецвыпуск. – 2009. – Т. 9. – Ч. II: техн. науки. – С. 31–34.

13. Кудинов Н.В. Перспективные подходы к параллельному моделированию одномерных технологических объектов / Н.В. Кудинов, В.А. Бек // Системный анализ, управление и обработка информации: тр. 1-го междунар. семинара студентов, аспирантов и учёных. – Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2010. – С. 59–68.

14. Кудинов Н.В. Алгоритмы моделирования типовых распределённых химико-технологических объектов / Н.В. Кудинов, А.А. Болдырева, Е.В. Тетеревлева // Системный анализ, управление и обработка информации: тр. 1-го международного семинара студентов, аспирантов и учёных. – Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2010. – С. 68–74.

15. Кудинов Н.В. Модульный подход к компьютерному моделированию участка магистрального газопровода / Н.В. Кудинов, А.А. Болдырева // Вестн. Донск. гос. техн. ун-та. – 2010. – Т. 10. – № 4. – С. 501–507.

Материал поступил в редакцию 06.06.11.

**References**

1. Seleznyov V.E. Matematicheskoe modelirovanie truboprovodny`x setej i sistem kanalov: metody`, modeli i algoritmy` / V.E. Seleznyov, V.V. Alyoshin, S.N. Pryalov; pod. red. V.E. Seleznyova. – M.: MAKS Press, 2007. – 695 s. – In Russian.

2. Nejdorf R.A. Modelirovanie i imitaciya processov transportirovki gaza magistral`ny`mi gazoprovodami / R.A. Nejdorf // Matematicheskie metody` v texnike i texnologiyax – MMTT-15: sb. tr. mezhdunar. nauch. konf. 4–6 iyunya 2002 g. V 10 t. T. 8. Sekciya 8, Tambov, 2002. – S. 128–132. – In Russian.

3. Nejdorf R.A. Modelirovanie dinamiki magistral`ny`x gazoprovodov s uchyotom teplovy`x processov / R.A. Nejdorf, V.E. Bachurin // Matematicheskie metody` v texnike i texnologiyax – MMTT-16: sb. tp. XVI mezhdunar. nauch. konf.: v 10 t. T. 3. Sekciya 3 / SPb. gos. texnol. in-t. – SPb.: Izd-vo SPbGTI(TU), 2003. – S. 183–186. – In Russian.

4. Sovremenny`e metody` resheniya oby`knovenny`x differencial`ny`x uravnenij / pod red. Dzh. Xolla, Dzh. Uatta. – M.: Mir, 1979. – In Russian.

5. Pantakar S.V. Chislenny`e metody` resheniya zadach teploobmena i dinamiki zhidkosti / S.V. Pantakar; pod red. V.D. Vilenskogo. – M.: E`nergoatomizdat, 1984. – 368 s. – In Russian.

6. Samarskij A.A. Matematicheskoe modelirovanie: idei, metody`, primery` / A.A. Samarskij, A.P. Mixajlov. – 2-e izd., ispr. – M.: Fizmatlit, 2002. – 320 s. – In Russian.

7. Matematicheskoe modelirovanie gidrometeorologicheskix processov. [E`lektron. resurs]. Rezhim dostupa: http://pages.rshu.ru/mamop/MaMOP.html (data obrashheniya: 15.05.2009). – In Russian.

8. Kudinov N.V. Metody` obrabotki informacii dlya zadach upravleniya perexodny`mi processami v magistral`ny`x truboprovodax: dis. ... kand. texn. nauk. – Rostov n/D, 2006. – 215 s. – In Russian.

9. Kudinov N. An Application of Integral-Interpolation Method for Sampling of Nonlinear Gas Transportation Models / N. Kudinov, R. Neydorf, E. Teterevleva // Paper of Workshop Odborníkov z Univerzít, Vysokých Škôl a Praxe v Oblasti Automatizácie a Riadenia, Technická univerzita v Košiciach 16-18 fevralya 2011 g., Stará Lesná.

10. Galanin M.P. Nelinejnaya monotonizaciya sxemy` K.I. Babenko («kvadrat») dlya uravneniya perenosa / M.P. Galanin, T.G. Elenina [E`lektron. resurs]. – Rezhim dostupa: http://www.keldysh.ru/papers/2002/prep4/prep2002_4.html (data obrashheniya: 03.04.2011). – In Russian.

11. Kudinov N.V. Metod konechny`x ob``yomov v primenenii k zadacham modelirovaniya trubo-provodnogo transporta gaza / N.V. Kudinov // Sistemny`j analiz, upravlenie i obrabotka informacii: tr. 1-go mezhdunar. seminara studentov, aspirantov i uchyony`x. – Rostov n/D: Izdatel`skij centr DGTU, 2010. – S. 74–79. – In Russian.

12. Kudinov N.V. Programmnoe obespechenie raspredelyonnogo modelirovaniya nestacionarnogo temperaturnogo polya v lokal`noj komp`yuternoj seti / N.V. Kudinov, V.A. Bek // Vestn. Donsk. gos. texn. un-ta. Speczvy`pusk. – 2009. – T. 9. – Ch. II: texn. nauki. – S. 31–34. – In Russian.

13. Kudinov N.V. Perspektivny`e podxody` k parallel`nomu modelirovaniyu odnomerny`x texnologicheskix ob``ektov / N.V. Kudinov, V.A. Bek // Sistemny`j analiz, upravlenie i obrabotka informacii: tr. 1-go mezhdunar. seminara studentov, aspirantov i uchyony`x. – Rostov n/D: Izdatel`skij centr DGTU, 2010. – S. 59–68. – In Russian.

14. Kudinov N.V. Algoritmy` modelirovaniya tipovy`x raspredelyonny`x ximiko-texnologicheskix ob``ektov / N.V. Kudinov, A.A. Boldy`reva, E.V. Teterevlyova // Sistemny`j analiz, upravlenie i obrabotka informacii: tr. 1-go mezhdunarodnogo seminara studentov, aspirantov i uchyony`x. – Rostov n/D: Izdatel`skij centr DGTU, 2010. – S. 68–74. – In Russian.

15. Kudinov N.V. Modul`ny`j podxod k komp`yuternomu modelirovaniyu uchastka magistral`nogo gazoprovoda / N.V. Kudinov, A.A. Boldy`reva // Vestn. Donsk. gos. texn. un-ta. – 2010. – T. 10. – # 4. – S. 501–507. – In Russian.

## PROBLEMS AND SIMULATION METHODS OF DISTRIBUTED OBJECTS

**N.V. KUDINOV**
(Don State Technical University)

*Problems, methods and results of the simulation programs development as well as their algorithmic support and software are considered. The problems are discussed in terms of the technologic distributed objects, such as the main gas pipeline division and the material multilayered structure where thermal processes take place.*
***Keywords:*** *distributed objects, simulation technique, mathematical simulation, simulation programs.*

УДК 539.3

# ЧИСЛЕННО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ МЕТОД РЕШЕНИЯ ОСЕСИММЕТРИЧНЫХ НЕСМЕШАННЫХ ЗАДАЧ ТЕРМОУПРУГОСТИ ДЛЯ НЕПРЕРЫВНО-НЕОДНОРОДНОГО ПО ГЛУБИНЕ ПОЛУПРОСТРАНСТВА*

**С.М. АЙЗИКОВИЧ, Л.И. КРЕНЕВ**
(Донской государственный технический университет)

*Предлагается численно-аналитический метод решения несмешанной осесимметричной задачи термоупругости для непрерывно-неоднородного по глубине полупространства при заданных на его поверхности источниках тепла и силовом воздействии. Для решения граничной задачи используется аппарат интегральных преобразований Ханкеля. Приводится анализ влияния изменяющихся по глубине термомеханических параметров в приповерхностном слое на распределение температурного поля, теплового потока и смещение поверхности.*
***Ключевые слова:*** *термоупругость, непрерывно-неоднородное полупространство, численно-аналитический метод, интегральные преобразования.*

**1. Постановка граничной квазистатической задачи термоупругости для непрерывно-неоднородного по глубине полупространства при заданных на его поверхности усилиях и источниках.** Рассмотрим полупространство, упругие характеристики которого непрерывно меняются с глубиной в пределах прилегающего к поверхности слоя толщиной *H*, а затем стабилизируются и остаются постоянными (рис. 1). С полупространством свяжем цилиндрическую систему координат $(r,\phi,z)$. Обозначим через $u,v,w$ смещения вдоль осей $r,\phi,z,\sigma_r,\sigma_\phi,\sigma_z,\tau_{r\phi},\tau_{rz},\tau_{\phi z}$ – радиальное, угловое, нормальное и тангенциальные напряжения соответственно. Кроме того, введем обозначения для температуры – *T*, коэффициента теплопроводности – $\lambda_T(z)$, коэффициента линейного расширения – $\alpha_T(z)$, коэффициента теплоемкости – $c_T(z)$. В ненапряженном состоянии температуру полупространства примем равной $T_0$ и будем анализировать разность температур $\theta = T - T_0$.

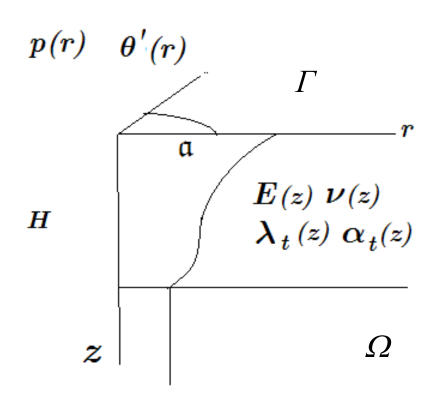



Рис.1. Схема нагружения
непрерывно-неоднородного полупространства

Для определения полей перемещений, деформаций, напряжений и температуры в рамках осесимметричной квазистатической несвязанной задачи термоупругости мы имеем следующие уравнения:

* Работа выполнена при финансовой поддержке грантов РФФИ (09-08-011410а, 10-08-01296-а, 10-08-90025-Bel-a), ГК № 02.740.11.0413, ГК № 02.740.11.5193, ГК № Р1107, АВЦП 2.1.2/10063.

1. Уравнения равновесия неоднородного по глубине полупространства при отсутствии массовых сил, записанные в цилиндрической системе координат:

$$1.\ \begin{cases} \frac{\partial}{\partial r}\left(r\sigma_r\right)+r\frac{\partial\tau_{rz}}{\partial z}-\sigma_\phi=0; \\ \frac{\partial}{\partial r}\left(r\tau_{zr}\right)+r\frac{\partial\sigma_z}{\partial z}=0; \end{cases} \tag{1.1}$$

$$2.\ \frac{\partial}{\partial r}\left(r^2\tau_{r\phi}\right)+r^2\frac{\partial\tau_{\phi z}}{\partial z}=0. \tag{1.2}$$

2. Уравнение неоднородной по глубине теплопроводности для температурного поля:

$$\lambda_T(z)\left(\frac{\partial^2\theta}{\partial r^2}+\frac{1}{r}\frac{\partial\theta}{\partial r}+\frac{1}{r^2}\frac{\partial^2\theta}{\partial\phi^2}+\frac{\partial^2\theta}{\partial z^2}\right)+\frac{\partial\lambda_T(z)}{\partial z}\frac{\partial\theta}{\partial z}+c_T(z)\frac{\partial\theta}{\partial t}=0\ . \tag{1.3}$$

3. Уравнения связи термоупругих напряжений с деформациями (Дюамеля-Неймана) [1]:

$$\begin{aligned} &\sigma_r=2\mathrm{M}(z)\varepsilon_r+\Lambda(z)\varepsilon-3K(z)\alpha_T(z)\theta, \\ &\sigma_\phi=2\mathrm{M}(z)\varepsilon_\phi+\Lambda(z)\varepsilon-3K(z)\alpha_T(z)\theta, \\ &\sigma_Z=2\mathrm{M}(z)\varepsilon_Z+\Lambda(z)\varepsilon-3K(z)\alpha_T(z)\theta, \\ &\tau_{r\phi}=2\mathrm{M}(z)\varepsilon_{r\phi},\ \ \tau_{rz}=2\mathrm{M}(z)\varepsilon_{rz}, \\ &\tau_{\phi z}=2\mathrm{M}(z)\varepsilon_{\phi z}, \\ &3K(z)=3\Lambda(z)+2M(z), \\ &\theta=T-T_0,\ \ \varepsilon=\varepsilon_r+\varepsilon_\phi+\varepsilon_z. \end{aligned} \tag{1.4}$$

Выражения для компонент деформаций имеют вид:

$$\begin{gathered} \varepsilon_r=\frac{\partial u}{\partial r},\ \ \varepsilon_\phi=\frac{u}{r},\ \ \varepsilon_z=\frac{\partial w}{\partial z}, \\ \varepsilon_{rz}=\frac{1}{2}\left(\frac{\partial u}{\partial z}+\frac{\partial w}{\partial r}\right),\varepsilon_{\phi z}=\frac{1}{2}\frac{\partial v}{\partial z},\ \ \varepsilon_{r\phi}=\frac{1}{2}\left(\frac{\partial v}{\partial r}-\frac{v}{r}\right), \\ \varepsilon=\frac{\partial u}{\partial r}+\frac{u}{r}+\frac{\partial w}{\partial z}. \end{gathered} \tag{1.5}$$

Далее предполагается, что как коэффициенты Ламе $\mathrm{M}(z)$ и $\Lambda(z)$, так и коэффициенты теплопроводности $\lambda_T(z)$, линейного расширения $\alpha_T(z)$, а также теплоемкости $c_T(z)$ являются непрерывными функциями координаты *z*, такими, что

$$\begin{gathered} 1.\ \mathrm{M}(z)=\mathrm{M}(-H)=\mathrm{M}^s,\ \ -\infty\le z\le -H\ , \\ \Lambda(z)=\Lambda(-H)=\Lambda^s,\ \lambda_T(z)=\lambda_T(-H)=\lambda_T^S; \\ \alpha_T(z)=\alpha_T(-H)=\alpha_T^S. \\ 2.\ \mathrm{M}(z)=\mathrm{M}^C(z),\ \Lambda(z)=\Lambda^C(z),\ \ -H\le z\le 0\ , \\ \lambda_T(z)=\lambda_T^C(z),\ \ \alpha_T(z)=\alpha_T^C(z),\ \ c_T(z)=c_T^C(z). \\ 3.\ \mathrm{M}^C(-H)=\mathrm{M}^s,\ \Lambda^C(-H)=\Lambda^S, \\ \lambda_T^C(-H)=\lambda_T^S,\ \alpha_T^C(-H)=\alpha_T^S,\ \ c_T^C(z)=c_T^S(z), \end{gathered} \tag{1.6}$$

где $H$ – толщина неоднородного слоя, сцепленного с подстилающим полупространством, то есть глубина, с которой мы полагаем термомеханические характеристики полупространства постоянными. Индекс $S$ соответствует подстилающему однородному полупространству, а $C$ – неоднородному слою; $\Lambda_*$, $\Lambda^*$, $\mathrm{M}_*$, $\mathrm{M}^*$, $\lambda_{T*}$, $\lambda_T^*$, $\alpha_{T*}$, $\alpha_T^*$, $c_{T*}$, $c_T^*$ – произвольные константы.

Наряду с парой коэффициентов Ламе для описания упругого поведения твердого изотропного тела используются: модуль сдвига $G$ и коэффициент Пуассона $\nu$ или модуль Юнга $E$ и коэффициент Пуассона $\nu$. Коэффициенты Ламе $\Lambda$ и $\mathrm{M}$ (иногда обозначаемый $G$ и называемый модулем сдвига) связаны с модулем Юнга $E$, коэффициентом Пуассона $\nu$ и изотермическим модулем объемного расширения $K$ соотношениями:

$$\mathrm{M}=\frac{E}{2(1+\nu)};\;\; \Lambda=\frac{E\nu}{(1+\nu)(1-2\nu)};\;\; E=\frac{\mathrm{M}(2\mathrm{M}+3\Lambda)}{\mathrm{M}+\Lambda};$$
$$\nu=\frac{\Lambda}{2(\mathrm{M}+\Lambda)};\;\; 3K(z)=3\Lambda(z)+2\mathrm{M}(z). \tag{1.7}$$

Запишем на основании (1.4), (1.5) представления для напряжений через смещения и подставим их в уравнения (1.1) – (1.2), получаем систему дифференциальных уравнений в частных производных второго порядка относительно перемещений и температуры (уравнения Ламе). Эти уравнения могут быть представлены в форме

$$\begin{cases} \mathrm{M}(z)\left(\nabla^2 u-\dfrac{u}{r^2}\right)+\left(\mathrm{M}(z)+\Lambda(z)\right)\dfrac{\partial\varepsilon}{\partial r}+\mathrm{M}'(z)\left(\dfrac{\partial w}{\partial r}+\dfrac{\partial u}{\partial z}\right)= \\ \qquad =k(z)\dfrac{\partial\theta}{\partial r}, \\ \mathrm{M}(z)\nabla^2 w+\left(\mathrm{M}(z)+\Lambda(z)\right)\dfrac{\partial\varepsilon}{\partial z}+2\mathrm{M}'(z)\dfrac{\partial w}{\partial z}+\Lambda'(z)\varepsilon= \\ \qquad =k'(z)\theta+k(z)\theta', \\ \mathrm{M}(z)\left(\nabla^2 v-\dfrac{v}{r^2}\right)+\mathrm{M}'(z)\left(\dfrac{\partial v}{\partial z}\right)=0, \\ \lambda_T(z)\nabla^2\theta+\lambda_T'(z)\theta'=0. \end{cases} \tag{1.8}$$

Здесь используются следующие обозначения:

$$\mathrm{M}'(z)=\frac{d\mathrm{M}(z)}{dz},\;\; \Lambda'(z)=\frac{d\Lambda(z)}{dz},\;\; \nabla^2=\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left(r\frac{\partial}{\partial r}\right)+\frac{\partial^2}{\partial z^2},$$
$$\varepsilon=\frac{\partial u}{\partial r}+\frac{u}{r}+\frac{\partial w}{\partial z},\;\; \lambda_T'(z)=\frac{d\lambda_T(z)}{dz},\; k'(z)=\frac{dk(z)}{dz},\;\; \theta'=\frac{\partial\theta}{\partial z}.$$

Мы полагаем, что поверхность полупространства нагревается в пределах круга радиусом $a$ непрерывно действующим тепловым потоком. Вне области нагрева поверхность полупространства

теплоизолирована. Предположим также, что внутри круга приложена произвольная нормальная и касательная нагрузка.

$$\begin{aligned}
&\theta'(r,0)=-\alpha\beta(r), \quad r\le a,\\
&\theta'(r,0)=0, \qquad r>a,\\
&\sigma_z(r,0)=-p(r), \quad 0\le r\le a, \ z=0,\\
&\sigma_z(r,0)=0, \qquad a<r<\infty, \ z=0,\\
&\tau_{rz}(r,0)=-q(r), \quad 0\le r<a, \ z=0,\\
&\tau_{rz}(r,0)=0, \qquad a<r<\infty, \ z=0,\\
&\tau_{r\phi}(r,0)=t(r), \quad 0\le r<a, \ z=0,\\
&\tau_{r\phi}(r,0)=0, \qquad a<r<\infty, \ z=0.
\end{aligned} \tag{1.9}$$

Здесь $\alpha$ – коэффициент теплопроводности.

На границе сцепления неоднородного слоя с однородным полупространством при $z=-H$ в силу непрерывности должны выполняться условия сопряжения по смещениям, напряжениям, температуре и тепловому потоку.

$$\begin{aligned}
&\sigma_z^C(r,-H)=\sigma_z^S(r,-H), \quad \tau_{rz}^C(r,-H)=\tau_{rz}^S(r,-H),\\
&u^C(r,-H)=u^S(r,-H), \quad w^C(r,-H)=w^S(r,-H),\\
&\theta^C(r,-H)=\theta^S(r,-H), (\theta^C)'(r,-H)=(\theta^S)'(r,-H).
\end{aligned} \tag{1.10}$$

На бесконечности при $(r,-z)\to\infty$ смещения, деформации и напряжения исчезают. Значения разности температур и теплового потока при этом также стремятся к нулю.

$$\begin{aligned}
&\lim_{z\to-\infty}\left(u,w,\varepsilon_r,\varepsilon_\phi,\varepsilon_z,\varepsilon_{rz},\sigma_r,\sigma_\phi,\sigma_z,\tau_{rz},\theta,\theta'\right)=0,\\
&\lim_{z\to\infty}\left(u,w,\varepsilon_r,\varepsilon_\phi,\varepsilon_z,\varepsilon_{rz},\sigma_r,\sigma_\phi,\sigma_z,\tau_{rz},\theta,\theta'\right)=0.
\end{aligned} \tag{1.11}$$

Таким образом, мы сформулировали первую граничную квазистатическую осесимметричную термоупругую задачу для неоднородного полупространства: найти смещения, деформации, напряжения и распределение температуры внутри полупространства, удовлетворяющие системе дифференциальных уравнений (1.8) при заданных граничных условиях и распределении воздействий на границе (1.9) – (1.11).

**2. Построение фундаментального решения квазистатической осесимметричной термоупругой задачи для неоднородного по глубине полупространства.** Будем разыскивать решение для смещений *u*, *v* и *w* и температуры $\theta$ в виде интегралов Ханкеля [2]:

$$\begin{aligned}
&u(r,z)=-\int_0^\infty U(\gamma,z)\,\mathrm{J}_1(\gamma r)\gamma d\gamma, \quad v(r,z)=\int_0^\infty V(\gamma,z)\,\mathrm{J}_1(\gamma r)\gamma d\gamma,\\
&w(r,z)=\int_0^\infty W(\gamma,z)\,\mathrm{J}_0(\gamma r)\gamma d\gamma, \quad \theta(r,z)=\int_0^\infty T(\gamma,z)\,\mathrm{J}_0(\gamma r)\gamma d\gamma.
\end{aligned} \tag{2.1}$$

Подставим (2.1) в систему дифференциальных уравнений в частных производных (1.8) и, приравняв к нулю подынтегральные выражения, получим систему обыкновенных дифференциальных уравнений второго порядка

$$\begin{cases} \mathrm{M}U'' + \gamma(\mathrm{M}+\Lambda)W' - \gamma^2(2\mathrm{M}+\Lambda)U + \mathrm{M}'U' + \gamma\mathrm{M}'W = k\gamma T, \\ (2\mathrm{M}+\Lambda)W'' - \gamma(\mathrm{M}+\Lambda)U' - \gamma^2\mathrm{M}W + (2\mathrm{M}'+\Lambda')W' - \gamma\Lambda'U = \\ \qquad = k'T + kT', \\ \mathrm{M}V'' + \mathrm{M}'V' - \gamma^2\mathrm{M}V = 0, \\ \lambda_T^C(z)(T^C)'' - \gamma^2\lambda_T^C(z)T^C + (\lambda_T^C)'(z)(T^C)' = 0. \end{cases} \tag{2.2}$$

(здесь ' указывает на дифференцирование по *z*).

В системе дифференциальных уравнений (2.2) третье уравнение не связано с остальными, и его решение здесь рассматривать не будем.

Граничные условия (1.9) примут следующий вид:

$$\begin{aligned} &\big(2\mathrm{M}(0)+\Lambda(0)\big)W'(\gamma,0) - \gamma\Lambda(0)U(\gamma,0) - k(0)T(\gamma,0) = -P(\gamma), \\ &\mathrm{M}(0)\big(\gamma W(\gamma,0) + U'(\gamma,0)\big) = Q(\gamma), \\ &T'(\gamma,0) = -\alpha\mathrm{B}(\gamma), \end{aligned} \tag{2.3}$$

$$P(\gamma) = \int_0^\infty p(\rho)J_0(\rho\gamma)\rho d\rho, \quad Q(\gamma) = \int_0^\infty q(\rho)J_1(\rho\gamma)\rho d\rho,$$

$$B(\gamma) = \int_0^\infty \beta(\rho)J_0(\rho\gamma)\rho d\rho.$$

Используя векторное представление для трансформант

$$\begin{aligned} &\mathrm{x}^T = (x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6), \\ &x_1 = U, \ x_2 = U', \ x_3 = W, \ x_4 = W', \\ &x_5 = T, \ x_6 = T', \end{aligned} \tag{2.4}$$

запишем систему (2.2) с исключенным третьим уравнением в матричном виде, при этом явно выделим части, соответствующие покрытию и подложке:

$$\frac{d\mathrm{x}^C}{dz} = \mathrm{A}^C\mathrm{x}^C, \quad -H \le z \le 0. \tag{2.5}$$

$$\mathbf{A}^C = \begin{Vmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \gamma^2\dfrac{2\mathrm{M}+\Lambda}{\mathrm{M}} & -\dfrac{\mathrm{M}'}{\mathrm{M}} & -\gamma\dfrac{\mathrm{M}'}{\mathrm{M}} & -\gamma\dfrac{\mathrm{M}+\Lambda}{\mathrm{M}} & \dfrac{\gamma k}{\mathrm{M}} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ \gamma\dfrac{\Lambda'}{2\mathrm{M}+\Lambda} & \gamma\dfrac{\mathrm{M}+\Lambda}{2\mathrm{M}+\Lambda} & \gamma^2\dfrac{\mathrm{M}}{2\mathrm{M}+\Lambda} & -\dfrac{2\mathrm{M}'+\Lambda'}{2\mathrm{M}+\Lambda} & \dfrac{k'}{2\mathrm{M}+\Lambda} & \dfrac{k}{2\mathrm{M}+\Lambda} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \gamma^2 & -\dfrac{\lambda_T^{C\prime}}{\lambda_T^C} \end{Vmatrix};$$

$$\frac{d\mathbf{x}^S}{dz} = \mathbf{A}^S\mathbf{x}^S, \quad -\infty < z \le -H. \tag{2.6}$$

$$\mathbf{A}^S = \begin{Vmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \gamma^2 \dfrac{2\mathrm{M}+\Lambda}{\mathrm{M}} & 0 & 0 & -\gamma \dfrac{\mathrm{M}+\Lambda}{\mathrm{M}} & \dfrac{\gamma k}{\mathrm{M}} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & \gamma \dfrac{\mathrm{M}+\Lambda}{2\mathrm{M}+\Lambda} & \gamma^2 \dfrac{\mathrm{M}}{2\mathrm{M}+\Lambda} & 0 & 0 & \dfrac{k}{2\mathrm{M}+\Lambda} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \gamma^2 & 0 \end{Vmatrix}.$$

Граничные условия при этом имеют вид:

$$\begin{aligned} &\big(2\mathrm{M}(0)+\Lambda(0)\big)x_4^C(\gamma,0)-\gamma\Lambda(0)x_1^C(\gamma,0)-k(0)x_5^C=-P(\gamma), \\ &\mathrm{M}(0)\left(\gamma x_3^C(\gamma,0)+x_2^C(\gamma,0)\right)=Q(\gamma), \\ &x_6^C(\gamma,0)=-\alpha\mathrm{B}(\gamma); \end{aligned} \qquad (2.7)$$

$$\begin{aligned} &x_1^C(\gamma,0)=x_1^S(\gamma,-H),\ \ x_3^C(\gamma,0)=x_3^S(\gamma,-H), \\ &x_2^C(\gamma,0)=x_2^S(\gamma,-H),\ \ x_4^C(\gamma,0)=x_4^S(\gamma,-H), \\ &x_5^C(\gamma,0)=x_5^S(\gamma,-H),\ \ x_6^C(\gamma,0)=x_6^S(\gamma,-H). \end{aligned}$$

Необходимо отметить, что последнее условие имеет место в силу непрерывности изменения свойств слоя и основания (1.5).

Общее решение системы (2.2) для однородного полупространства $\Lambda' = \mathrm{M}' = K' = \lambda_T{}' = 0,\ \mathrm{M}>0,\ \Lambda>0,\ K>0,\ \lambda_T>0$ имеет вид:

$$\begin{aligned} &x_1^S(\gamma,z)=\Big(d_1+\gamma z d_2+\big(-\kappa_2+\kappa_3 z+\kappa_2\gamma z\big)d_3\Big)\mathrm{e}^{\gamma z}, \\ &x_2^S(\gamma,z)=\Big(d_1+(1+\gamma z)d_2+(\kappa_3/\gamma+\kappa_3 z+\kappa_2\gamma z)d_3\Big)\gamma\,\mathrm{e}^{\gamma z}, \\ &x_3^S(\gamma,z)=\left(d_1+(-\kappa_1+\gamma z)d_2+\left(-\frac{\kappa_3}{\gamma}+\kappa_3 z+\kappa_2\gamma z\right)d_3\right)\mathrm{e}^{\gamma z}, \\ &x_4^S(\gamma,z)=\Big(d_1+(1-\kappa_1+\gamma z)d_2+(\kappa_2+\kappa_3 z+\kappa_2\gamma z)d_3\Big)\gamma\,\mathrm{e}^{\gamma z}, \\ &x_5^S(\gamma,z)=d_3\,\mathrm{e}^{\gamma z},\ \ x_6^S(\gamma,z)=\gamma d_3\,\mathrm{e}^{\gamma z}, \end{aligned} \qquad (2.8)$$

$$\kappa_1=\frac{\Lambda+3\mathrm{M}}{\Lambda+\mathrm{M}},\ \ \kappa_2=\frac{k}{2(2\mathrm{M}+\Lambda)},\ \ \kappa_3=\frac{k}{2\mathrm{M}},$$

где $d_i\big(i=1,2,3\big)$ – произвольная функция параметра $\gamma$.

Решение $\mathrm{x}^C(\gamma,z)$ системы дифференциальных уравнений (2.5) строится методом модулирующих функций. Будем искать $\mathrm{x}^C(\gamma,z)$ в виде

$$\mathbf{x}^C(\gamma,z)=\sum_{i=1}^{3}d_i(\gamma)\mathbf{a}_i(\gamma,z)\mathrm{e}^{\gamma z}. \qquad (2.9)$$

Векторы $\mathbf{a}_i(\gamma,z),\ (i=1,2,3)$ определяются из решения следующей задачи Коши:

$$\frac{d\mathbf{a}_i}{dz}=\mathbf{A}^C\mathbf{a}_i-\gamma\mathbf{a}_i,\quad -H\le z\le 0,\ \ i=1,2,3. \qquad (2.10)$$

При начальных условиях для $z=-H$

$$\mathbf{a}_1(\gamma,z)\Big|_{z=-H}=(1,\gamma,1,\gamma,0,0);$$

$$\mathbf{a}_2(\gamma,z)\Big|_{z=-H}=(\gamma z,\gamma+\gamma^2 z,-\kappa_1+\gamma z,\gamma-\kappa_1\gamma+\gamma^2 z,0,0)\Big|_{z=-H};$$

$$\mathbf{a}_3(\gamma,z)\Big|_{z=-H}=(-\kappa_2+\kappa_3 z+\kappa_2\gamma z,\kappa_3/\gamma+\kappa_3 z+\kappa_2\gamma z,$$

$$-\frac{\kappa_3}{\gamma}+\kappa_3 z+\kappa_2\gamma z,\kappa_2+\kappa_3 z+\kappa_2\gamma z,1,\gamma)\Big|_{z=-H}.$$

Константы $d_i(\gamma)\big(i=1,2,3\big)$ определяются из условия (2.7). Таким образом, мы имеем:

$$\begin{cases}\sum\limits_{i=1}^{3} d_i(\gamma)N_i(\gamma)=-P(\gamma),\\ \sum\limits_{i=1}^{3} d_i(\gamma)M_i(\gamma)=Q(\gamma),\\ \sum\limits_{i=1}^{3} d_i(\gamma)O_i(\gamma)\ =-\alpha\mathrm{B}(\gamma);\end{cases} \qquad (2.11)$$

$$N_i(\gamma)=-\Lambda(0)\gamma a_i^1(\gamma,0)+\big(\Lambda(0)+2\mathrm{M}(0)\big)a_i^4(\gamma,0)-k(0)a_i^5(\gamma,0),$$

$$M_i(\gamma)=\mathrm{M}(0)a_i^2(\gamma,0)+\mathrm{M}(0)\gamma a_i^3(\gamma,0),$$

$$O_i(\gamma)=a_i^6(\gamma,0),\ O_1(\gamma)=O_2(\gamma)=0,$$

где $a_i^k(\gamma,z),\ (i=1,2,3)$ обозначает $k$-ю компоненту вектора $\mathbf{a}_i(\gamma,z),\ i=1,2,3$, $k=1,2,3,4,5,6$.

$$d_1=-k_2^1(\gamma)P(\gamma)-k_2^2(\gamma)Q(\gamma)+k_2^3(\gamma)\alpha B(\gamma),$$

$$d_2=k_1^1(\gamma)P(\gamma)+k_1^2(\gamma)Q(\gamma)+k_1^3(\gamma)\alpha B(\gamma), \qquad (2.12)$$

$$d_3=\frac{1}{O_3(\gamma)}\alpha B,$$

$$k_2^1(\gamma)=\frac{M_2(\gamma)}{\Delta_{12}(\gamma)},\quad k_2^2(\gamma)=\frac{N_2(\gamma)}{\Delta_{12}(\gamma)},k_2^3(\gamma)=\frac{\Delta_{23}(\gamma)}{\Delta_{12}(\gamma)}\frac{1}{O_3(\gamma)},$$
$$k_1^1(\gamma)=\frac{M_1(\gamma)}{\Delta_{12}(\gamma)},\quad k_1^2(\gamma)=\frac{N_1(\gamma)}{\Delta_{12}(\gamma)},k_1^3(\gamma)=\frac{\Delta_{13}(\gamma)}{\Delta_{12}(\gamma)}\frac{1}{O_3(\gamma)},$$
$$\Delta_{ij}(\gamma)=N_i(\gamma)M_j(\gamma)-N_j(\gamma)M_i(\gamma).$$

Окончательно получаем следующее выражение для компонент вектора решения $\mathbf{x}^C(\gamma,z)$ при $z\ge -H$:

$$\begin{aligned}
&x_1=U(\gamma,z)=(L_1^1(\gamma,z)P(\gamma)+L_2^1(\gamma,z)Q(\gamma)+L_3^1(\gamma,z)\alpha B(\gamma))e^{\gamma z}/\gamma,\\
&x_2=U'(\gamma,z)=(L_1^2(\gamma,z)P(\gamma)+L_2^2(\gamma,z)Q(\gamma)+L_3^2(\gamma,z)\alpha B(\gamma))e^{\gamma z}/\gamma,\\
&x_3=W(\gamma,z)=(L_1^3(\gamma,z)P(\gamma)+L_2^3(\gamma,z)Q(\gamma)+L_3^3(\gamma,z)\alpha B(\gamma))e^{\gamma z}/\gamma,\\
&x_4=W'(\gamma,z)=(L_1^4(\gamma,z)P(\gamma)+L_2^4(\gamma,z)Q(\gamma)+L_3^4(\gamma,z)\alpha B(\gamma))e^{\gamma z}/\gamma,\\
&x_5=T(\gamma,z)=L_3^5(\gamma,z)\alpha B(\gamma)e^{\gamma z}/\gamma,\\
&x_6=T'(\gamma,z)=L_3^6(\gamma,z)\alpha B(\gamma)e^{\gamma z}/\gamma,\\
&L_1^i(\gamma,z)=(k_1^1(\gamma)a_2^i(\gamma,z)-k_2^1(\gamma)a_1^i(\gamma,z))\gamma,\\
&L_2^i(\gamma,z)=(k_1^2(\gamma)a_2^i(\gamma,z)-k_2^2(\gamma)a_1^i(\gamma,z))\gamma,\\
&L_3^i(\gamma,z)=(k_1^3(\gamma)a_2^i(\gamma,z)+k_2^3(\gamma)a_1^i(\gamma,z)+\frac{a_3^i(\gamma,z)}{O_3(\gamma)})\gamma.
\end{aligned}\tag{2.13}$$

Введем обозначения:

$$\begin{aligned}
&I_{1i}^k(r,z)=\int_0^\infty L_1^k(\gamma,z)P(\gamma)e^{\gamma z}\,\mathrm{J}_i(\gamma r)\,d\gamma,(k=1,2\ i=1),(k=3,4\ i=0),\\
&I_{2i}^k(r,z)=\int_0^\infty L_2^k(\gamma,z)Q(\gamma)e^{\gamma z}\,\mathrm{J}_i(\gamma r)\,d\gamma,(k=1,2\ i=1),(k=3,4\ i=0),\\
&I_{3i}^k(r,z)=\int_0^\infty L_3^k(\gamma,z)\alpha B(\gamma)e^{\gamma z}\,\mathrm{J}_i(\gamma r)\,d\gamma,\ (k=1,2\ i=1),(k=3,4,5,6\ i=0),\\
&J_{1i}^k(r,z)=\int_0^\infty L_1^k(\gamma,z)P(\gamma)e^{\gamma z}\,\mathrm{J}_i(\gamma r)\gamma d\gamma,(k=2\ i=0),(k=4\ i=1),\\
&J_{2i}^k(r,z)=\int_0^\infty L_2^k(\gamma,z)Q(\gamma)e^{\gamma z}\,\mathrm{J}_i(\gamma r)\gamma d\gamma,(k=2\ i=0),(k=4\ i=1),\\
&J_{3i}^k(r,z)=\int_0^\infty L_3^k(\gamma,z)\alpha B(\gamma)e^{\gamma z}\,\mathrm{J}_i(\gamma r)\gamma d\gamma,(k=2\ i=0),(k=4\ i=1).
\end{aligned}\tag{2.14}$$

В соответствии с (1.4) – (1.5) мы можем теперь выписать выражения для смещений, температуры, теплового потока и деформаций:

$$
\begin{aligned}
&u(r,z)=\sum_{i=1}^{3}I_{i1}^{1}(r,z), w(r,z)=\sum_{i=1}^{3}I_{i0}^{3}(r,z),\\
&\theta(r,z)=I_{30}^{5}(r,z), \frac{\partial\theta(r,z)}{\partial z}=I_{30}^{6}(r,z),\\
&\frac{\partial u(r,z)}{\partial z}=\sum_{i=1}^{3}I_{i1}^{2}(r,z), \varepsilon_z=\frac{\partial w(r,z)}{\partial z}=\sum_{i=1}^{3}I_{i0}^{4}(r,z),\\
&\varepsilon_r=\frac{\partial u(r,z)}{\partial r}=\sum_{i=1}^{3}J_{i0}^{2}(r,z)-\frac{1}{r}\sum_{i=1}^{3}I_{i1}^{2}(r,z),\\
&\frac{\partial w(r,z)}{\partial r}=-\sum_{i=1}^{3}J_{i1}^{4}(r,z), \varepsilon_{rz}=\frac{1}{2}\left(\sum_{i=1}^{3}I_{i1}^{2}(r,z)-\sum_{i=1}^{3}J_{i1}^{4}(r,z)\right),\\
&\varepsilon=\sum_{i=1}^{3}J_{i0}^{2}(r,z)-\frac{1}{r}\sum_{i=1}^{3}I_{i1}^{2}(r,z)+\frac{1}{r}\sum_{i=1}^{3}I_{i1}^{1}(r,z)+\sum_{i=1}^{3}I_{i0}^{4}(r,z),
\end{aligned}
\tag{2.15}
$$

а также для напряжений:

$$
\begin{aligned}
&\sigma_r=(\Lambda(z)+2\mathrm{M}(z))\left(\sum_{i=1}^{3}J_{i0}^{2}(r,z)-\frac{1}{r}\sum_{i=1}^{3}I_{i1}^{2}(r,z)\right)+\\
&+\Lambda(z)\left(\frac{1}{r}\sum_{i=1}^{3}I_{i1}^{1}(r,z)+\sum_{i=1}^{3}I_{i0}^{4}(r,z)\right)-k(z)I_{30}^{5}(r,z),\\
&\sigma_\phi=(\Lambda(z)+2\mathrm{M}(z))\frac{1}{r}\sum_{i=1}^{3}I_{i1}^{1}(r,z)+\\
&+\Lambda(z)\left(\sum_{i=1}^{3}J_{i0}^{2}(r,z)-\frac{1}{r}\sum_{i=1}^{3}I_{i1}^{2}(r,z)+\sum_{i=1}^{3}I_{i0}^{4}(r,z)\right)-\\
&-k(z)I_{30}^{5}(r,z),\\
&\sigma_z=(\Lambda(z)+2\mathrm{M}(z))\sum_{i=1}^{3}I_{i0}^{4}(r,z)+\\
&+\Lambda(z)\left(\sum_{i=1}^{3}J_{i0}^{2}(r,z)-\frac{1}{r}\sum_{i=1}^{3}I_{i1}^{2}(r,z)+\frac{1}{r}\sum_{i=1}^{3}I_{i1}^{1}(r,z)\right)-\\
&-k(z)I_{30}^{5}(r,z),\\
&\tau_{rz}=\mathrm{M}(z)(\sum_{i=1}^{3}I_{i1}^{2}(r,z)-\sum_{i=1}^{3}J_{i1}^{4}(r,z)),\\
&k(z)=3K(z)\alpha_T(z).
\end{aligned}
\tag{2.16}
$$

**3. Численный анализ решения осесимметричной граничной задачи квазистатической теплопроводности и термоупругости для функционально-градиентного покрытия при заданном на его поверхности постоянном тепловом потоке.** Рассмотрим распределение температуры и теплового потока в покрытии, вызванное воздействием равномерного теплового потока с поверхности в пределах круга радиусом $a$, для некоторых характерных видов неоднородности.

Будем считать, что коэффициент теплопроводности $\lambda_T(z)$ непрерывно изменяется в приповерхностной зоне так, что выполняются соотношения (1.4). В записи граничных условий на поверхности неоднородного полупространства (1.9) полагаем, что усилия отсутствуют, то есть

$p(r)=q(r)=t(r)=0,\ 0\le r<\infty,\ \ z=0,$ и граничные условия на поверхности и в зоне сцепления неоднородного слоя с подстилающим однородным полупространством имеют вид:

$$\begin{aligned}&(\theta^C)'(r,0)=-\alpha\beta(r),\ r\le a;\quad (\theta^C)'(r,0)=0,\qquad r>a,\\&\theta^c(r,-H)=\theta^s(r,-H);\ \ (\theta^c)'(r,-H)=(\theta^s)'(r,-H).\end{aligned}\tag{3.1}$$

На бесконечности при $(r,-z)\to\infty$ значения разности температур и теплового потока стремятся к нулю, и выполняются соотношения (1.11).

В пункте 2 построено общее решение квазистатической осесимметричной термоупругой задачи для неоднородного полупространства. В развернутом виде формулы для определения распределения температуры и теплового потока в функционально-градиентном покрытии при заданном на поверхности постоянном тепловом потоке можно записать так:

$$\begin{aligned}&\theta(r,z)=\alpha\int_0^a\beta(\rho)\rho d\rho\int_0^\infty L_3^5(\gamma,z)e^{\gamma z}\,\mathrm{J}_0(\rho\gamma)\,\mathrm{J}_0(\gamma r)\gamma d\gamma,\\&\frac{\partial\theta(r,z)}{\partial z}=\alpha\int_0^a\beta(\rho)\rho d\rho\int_0^\infty L_3^6(\gamma,z)e^{\gamma z}\,\mathrm{J}_0(\rho\gamma)\,\mathrm{J}_0(\gamma r)\gamma d\gamma.\end{aligned}\tag{3.2}$$

Рассмотрим шесть характерных законов изменения коэффициента теплопроводности $\lambda_T(z)$ в приповерхностном слое (относительно подстилающего однородного полупространства) (рис. 2):

$$\begin{aligned}&\lambda_T(z)=\begin{cases}\lambda_T^C(z)=\lambda_T^S f_i(z), & -H\le z<0,\\ \lambda_T^S=const, & -\infty<z\le -H,\end{cases}\\&f_1(z)=2,\ \ f_2(z)=\frac{1}{2},\ \ f_3(z)=2+\frac{z}{H},\ \ f_4(z)=\frac{1}{2}-\frac{1}{2}\frac{z}{H},\\&f_5(z)=1-\sin(z\pi/H),\ \ f_6(z)=1+\frac{1}{2}\sin(z\pi/H).\end{aligned}\tag{3.3}$$

Рис. 2. Схематичное изображение шести видов неоднородности и однородного полупространства

На рис. 3,4 для законов (3.3) представлено изменение вдоль оси симметрии $r=0$ установившегося температурного поля и теплового потока для однородного полупространства.

При изменении коэффициента теплопроводности в 2 раза по сравнению с однородным полупространством температура на поверхности изменяется примерно в 1,5 раза. Видно, что изменение коэффициента теплопроводности влияет только на скорость изменения температуры в теле, однако существенно сказывается на распределении теплового потока в приповерхностном слое.

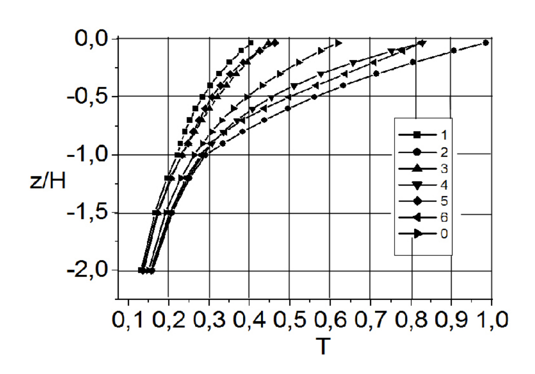



Рис. 3. Изменение температуры для шести видов неоднородности и однородного полупространства

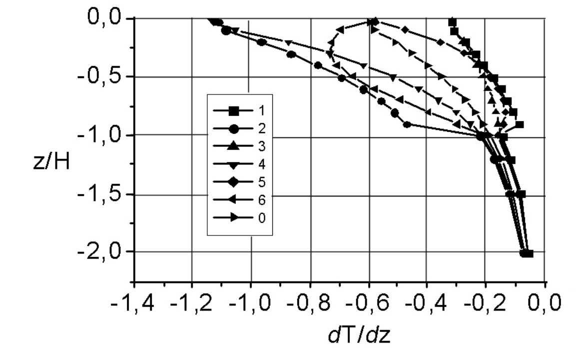



Рис. 4. Изменение теплового потока для шести видов неоднородности и однородного полупространства

На рис. 5 показано изменение вертикального смещения в приповерхностной зоне непрерывно-неоднородного покрытия при воздействии с поверхности постоянного теплового потока в пределах круга единичного радиуса, толщина неоднородного покрытия равна радиусу зоны приложенного воздействия.

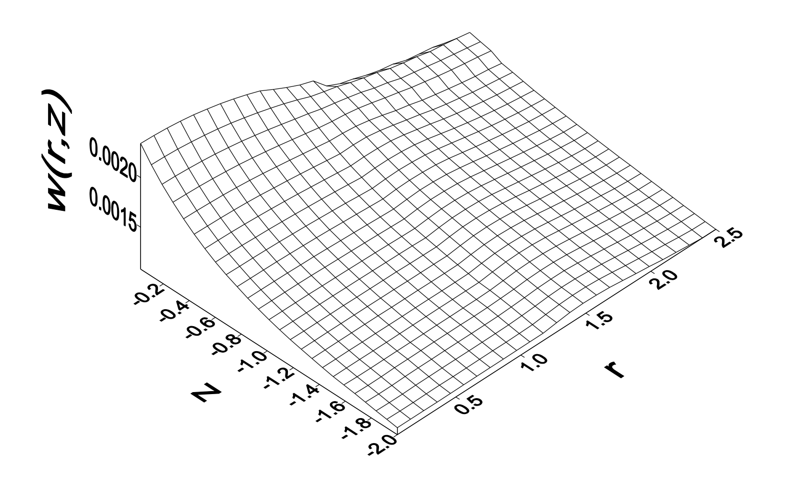



Рис. 5. Смещение поверхности непрерывно-неоднородного полупространства

Величины термомеханических параметров на поверхности покрытия вдвое превышают их значения в подложке и линейно убывают по глубине.

**Библиографический список**


1. Коваленко А.Д. Введение в термоупругость / А.Д. Коваленко // Киев: Наукова думка, 1965. – 204 с.

2. Айзикович С.М. Деформирование полупространства с неоднородным упругим покрытием при действии произвольной осесимметричной нагрузки / С.М. Айзикович, И.С. Трубчик, Л.И. Кренев // ПММ. – 2008. – № 72. – С. 461–467.


Материал поступил в редакцию 31.05.11.

**References**

1. Kovalenko A.D. Vvedenie v termouprugost` / A.D. Kovalenko // Kiev: Naukova dumka, 1965. – 204 s. – In Russian.

2. Ajzikovich S.M. Deformirovanie poluprostranstva s neodnorodny`m uprugim pokry`tiem pri dejstvii proizvol`noj osesimmetrichnoj nagruzki / S.M. Ajzikovich, I.S. Trubchik, L.I. Krenyov // PMM. – 2008. – # 72. – S. 461–467. – In Russian.

## NUMERICAL ANALYTIC SOLUTION TO UNMIXED AXISYMMETRIC PROBLEMS OF THERMOELASTICITY FOR CONTINUOUS-INHOMOGENEOUS IN DEPTH HALF-SPACE

**S.M. AIZIKOVICH, L.I. KRENEV**
(Don State Technical University)

*The numerical analytic solution to the unmixed axisymmetric problems of thermoelasticity for the continuous-inhomogeneous in depth half-space at the given heat sources and force action on its surface is offered. Hankel integral transform apparatus is used for the solution of the boundary value problem. The impact of variable in depth thermomechanical parameters in the boundary layer on the temperature field distribution, heat flow and face slip is analyzed.*
***Keywords:*** *thermoelasticity, continuous-inhomogeneous half-space, numerical analytical method, integral transforms.*

УДК 512.64+517.5

# О РАСПРЕДЕЛЕНИИ СОБСТВЕННЫХ ЧИСЕЛ ТЁПЛИЦЕВЫХ МАТРИЦ С СИМВОЛОМ ХАРТВИГА – ФИШЕРА*

**А.А. БАТАЛЬЩИКОВ, В.А. СТУКОПИН**
(Донской государственный технический университет)

*Исследуются матрицы Тёплица с символом типа Хартвига – Фишера. Формулируется и доказывается обобщение теоремы Сегё для нормальных тёплицевых матриц с комплекснозначным символом из класса $L_\infty$ на единичной окружности.*
***Ключевые слова:*** *тёплицева матрица, символ Хартвига – Фишера, теорема Сегё.*

**Введение.** Тёплицевы (и связанные с ними ганкелевы матрицы) [1, 2] – это один из наиболее важных для приложений классов матриц, появляющийся в задачах фундаментальной математики, теоретической физики, механики, а также в многочисленных инженерных приложениях. Одно из наиболее интересных приложений теории тёплицевых матриц связано с точно решаемыми моделями статистической механики.

В середине 60-х годов XX века, рядом авторов [3, 4] были получены формулы, выражающие значения статистической суммы и некоторых корреляционных функций двумерной модели Изинга через определители тёплицевых матриц больших (растущих) размеров и, в конечном итоге, через собственные значения этих тёплицевых матриц. Полученные вычисления объясняли некоторые качественные эффекты, именно позволяли находить критические индексы, связанные с фазовыми переходами в модели Изинга. В настоящее время в работах ряда авторов (см., например, [5, 6]) были сделаны попытки обобщить упомянутый выше подход на другие модели, что требует развития теории тёплицевых матриц и, в частности, обобщения предельной теоремы Сегё [1, 7, 8], в том числе и на несимметрический случай [8-11].

В данной работе мы исследуем собственные значения тёплицевых матриц, когда их размер стремится к бесконечности.

**Постановка задачи**. Основной результат, полученный в работе, состоит в обосновании обобщения теоремы Сегё для нормальных тёплицевых матриц. Первоначальной целью нашего исследования было получение аналогичного результата для тёплицевых матриц из так называемого класса Хартвига – Фишера, то есть с символом вида

$$f_{\alpha,\beta} = (1 - z - z^{-1})^{\alpha} (-z)^{\beta}, \text{ при } 0 < \alpha < |\beta| < 1. \quad (1)$$

К сожалению, матрицы с таким символом не являются нормальными, как представлялось сначала, они лишь диагонализуемы. Поэтому цель, первоначально поставленная нами перед собой, не оказалось достигнутой. Тем не менее, по нашему мнению, полученный результат также представляет интерес ввиду потенциальной возможности обобщения теоремы Хофмана – Виланда на случай диагонализируемой тёплицевой матрицы с символом из пространства $L_\infty$, что позволит достичь исходной цели работы.

Как было отмечено ранее, в основе асимптотической спектральной теории тёплицевых матриц лежит знаменитая теорема Сегё (см. [1]), устанавливающая связь между предельным спектром и множеством значений символа тёплицевой матрицы, когда аргумент пробегает единичную окружность. Точнее, имеет место сходимость по мере спектров тёплицевых матриц с дискретной мерой к множеству значений символа, наделённому лебеговой мерой. Этот результат установлен Сегё для самосопряжённых тёплицевых матриц с непрерывным и не обращающимся в

* Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (№ 09-01-00671-а), а также федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» в рамках мероприятия 1.2.2 (госконтракт П1116).

ноль на окружности символом. Эта теорема Г. Сегё обобщалась многими авторами на случай более общих символов [7, 9, 11, 12].

Здесь следует отметить также результаты и гипотезы Р. Хартвига и М. Фишера (см. [9-11]) об асимптотике определителя тёплицевой матрицы, полностью не доказанные до настоящего времени и уточняющие результаты, относящиеся к обобщениям классической теоремы Сегё. В данной работе рассмотрен случай несамосопряжённых нормальных тёплицевых матриц. Этот случай также представляет интерес для приложений в статистической механике, в первую очередь асимптотическими оценками определителя таких матриц.

**Формулировка основного результата работы.** Пусть $S^1 = \{z \in C : |z| = 1\}$ – единичная окружность в комплексной плоскости, $f(z) \approx \sum_{k=-\infty}^{\infty} a_k z^k$ ($z \in S^1$) – ряд Фурье – Лорана функции $f(z)$. Матрица вида

$$T_n(f) = (a_{k-l})_{0 \le k,l \le n} \tag{2}$$

называется тёплицевой матрицей размером $n \times n$, определяемой символом $f(z)$.

**Теорема 1.** *Пусть* $f(e^{it}) \in L^\infty([-\pi, \pi])$, $\tau_{n,k}, 0 \le k \le n$ *– последовательность собственных чисел нормальной тёплицевой матрицы* $T_n(f) = (a_{k-l})_{0 \le k,l \le n}$. *Тогда для произвольного положительного целого числа s имеет место равенство*

$$\lim_{n\to\infty} \frac{1}{n} \sum_{k=1}^{n} \tau_{n,k}^s = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \left( f\left(e^{it}\right)\right)^s dt . \tag{3}$$

**Следствие.** Пусть выполняются условия предыдущей теоремы. Тогда для произвольной аналитической функции $F(z)$ в кольце, содержащем окружность единичного радиуса, имеет место равенство

$$\lim_{n\to\infty} \frac{1}{n} \sum_{k=1}^{n} F\left(\tau_{n,k}\right) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} F\left(f\left(e^{it}\right)\right) dt . \tag{4}$$

Отметим, что символ $f_{\alpha,\beta} = (1 - z - z^{-1})^\alpha (-z)^\beta$ часто называют *символом Хартвига – Фишера*.

**Предложение.** *Символ Хартвига – Фишера удовлетворяет следующему условию:*

$$f_{\alpha,\beta}(e^{it}) \in L^\infty([-\pi, \pi]) . \tag{5}$$

**Гипотеза.** *Пусть, как и выше,* $f_{\alpha,\beta} = (1 - z - z^{-1})^\alpha (-z)^\beta$ *при* $0 < \alpha < |\beta| < 1$, $T_n\left(f_{\alpha,\beta}\right) = (a_{k-l})_{0 \le k,l \le n}$ *– соответствующая матрица Тёплица,* $\tau_{n,k}, 0 \le k \le n$ *– последовательность её собственных чисел. Тогда для произвольного положительного целого числа s имеет место равенство*

$$\lim_{n\to\infty} \frac{1}{n} \sum_{k=1}^{n} \tau_{n,k}^s = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \left( f\left(e^{it}\right)\right)^s dt . \tag{6}$$

**Замечание 1.** Отметим, что для того чтобы вывести гипотезу 1 из теоремы 1, достаточно было бы показать, что матрицы Тёплица, определяемые символом Хартвига – Фишера, являются нормальными. Ответ на вопрос: «Являются ли тёплицевы матрицы с символом (1) нормальными?» можно получить (учитывая (5)), зная вид матричных элементов тёплицевой матрицы с символом (1) и имея критерий нормальности в терминах матричных элементов.

Сформулируем критерий нормальности тёплицевой матрицы. Отметим, что этот критерий, вероятно, впервые был опубликован вместе с классификацией нормальных тёплицевых матриц в работе Н.Я. Крупника, У.Й. Ли, М. Крупника, Д. Фареника. Не теряя общности, можно предпола-

гать, что у тёплицевой матрицы $T_n(f)=(a_{k-l})_{0\le k,l\le n}$ (см. (2)) равны нулю диагональные элементы, то есть $a_0=0$ (вместо исходной матрицы А мы рассматриваем матрицу $A-a_0E$ со сдвинутым на $a_0$ спектром). Тогда условие нормальности тёплицевой матрицы принимает следующий вид:

$$\overline{a}_{-q}a_{-p}+a_{-N+q-1}\overline{a}_{-N+p-1}=a_q\overline{a}_p+a_{N-p+1}\overline{a}_{N-q+1}. \qquad (7)$$

Можно показать явными вычислениями, что матричные элементы тёплицевой матрицы $T_n(f_{\alpha,\beta})=(a_{k-l})_{0\le k,l\le n}$ с символом Хартвига – Фишера (1) имеют следующий вид:

$$a_{j-k}=(-1)^{j-k}\frac{\Gamma(2\alpha+1)}{\Gamma(\alpha+1+\beta-j+k)\Gamma(\alpha+1-\beta+j-k)}. \qquad (8)$$

Непосредственно проверяется, что матричные элементы, определяемые условием (8), к сожалению, не удовлетворяют условию (7).

**Доказательство результатов.** В этом пункте мы докажем сформулированные выше результаты. Мы докажем теорему 1. Доказательство теоремы распадается на две части. Первая часть состоит в аппроксимации тёплицевой матрицы с символом из $L_2$ циркулянтными матрицами по фробениусовой норме. Этот результат, по существу, является известным (см., например, [12] для случая вещественнозначного символа). Но мы для удобства читателя приводим это доказательство. Вторая часть состоит в доказательстве близости собственных значений, близких по фробениусовой норме (в слабом смысле, разъяснение см. ниже) нормальных тёплицевых матриц. Этот результат мы выводим из неравенства Хофмана – Виланда.

План подробного доказательства результата об аппроксимации произвольной тёплицевой матрицы циркулянтными матрицами в слабом смысле по фробениусовой норме составляет последовательную редукцию: сначала к случаю вещественнозначного символа тёплицева оператора $T_n(f)$ – функции $f\in L_\infty$, а потом к случаю неотрицательного символа. Следует отметить, что в работе [7] (см. также [12]) проведён в деталях второй этап отмеченной выше редукции. Первый этап прост.

Напомним сначала определение равнораспределённости собственных значений матриц. Мы говорим, что собственные значения последовательностей матриц $\{A_n\}_{n=1}^{\infty}$ и $\{C_n\}_{n=1}^{\infty}$ равнораспределены и пишем $\lambda(A_n)\cong\lambda(C_n)$, если

$$\lim_{n\to\infty}\min_{\sigma\in S_n}\frac{\sum_{i=1}^{n}F(\lambda_i(A_n))-F(\lambda_{\sigma(i)}(C_n))}{n}=0, \qquad (9)$$

где $\lambda_i(C)$ – $i$-е собственное значение матрицы *C*, а *F* – произвольный многочлен. В формуле минимум берётся по всем перестановкам $n$-элементного множества.

Ниже мы будем пользоваться понятием фробениусовой нормы $\|A\|_F$ матрицы *A*, которая определяется формулой

$$\|A\|_F=\left(\sum_{i,j=1}^{n}|a_{ij}|^2\right)^{1/2}. \qquad (10)$$

Центральное место в наших рассуждениях занимает следующая теорема.

**Теорема 2.** *Пусть {$A_n$}, {$C_n$} такие последовательности нормальных матриц, что их спектры ограничены в совокупности (при всех n) и выполняется:*

$$\|A_n-C_n\|_F^2=\overline{o}(n). \qquad (11)$$

*Тогда*

$$\lambda(A_n)\cong\lambda(C_n). \qquad (12)$$

*Доказательство.* Доказательство этой теоремы основано на использовании знаменитой теоремы Хофмана – Виланда (см. [13]).

**Теорема 3.** (Хофман, Виланд [13]). Пусть *A*, *B* – нормальные матрицы. Тогда

$$d_F(sp(A)-sp(B))=\min_{\sigma\in S_n}\left[\sum_{i=1}^{n}|\lambda(A)_i-\lambda(B)_{\sigma(i)}|^2\right]^{1/2}\le\|A-B\|_F. \qquad (13)$$

В теореме $d_F(sp(A)-sp(B))$ обозначает расстояние по фробениусовой норме между спектрами $sp(A)$ и $sp(B)$ матриц *A* и *B* соответственно, равное $\min_{\sigma\in S_n}\left[\sum_{i=1}^{n}|\lambda(A)_i-\lambda(B)_{\sigma(i)}|^2\right]^{1/2}$. В формуле для расстояния во фробениусовой норме минимум берётся по всем перестановкам $n$-элементного множества.

Для доказательства теоремы 2 достаточно показать, что из (10) следует (9). Покажем это. Отметим сначала, что имеет место следующее легко проверяемое неравенство:

$$\sum_{k=1}^{n}|x_k|\le\sqrt{n}\left(\sum_{k=1}^{n}|x_k|^2\right)^{1/2}. \qquad (14)$$

Поэтому в силу (10), (11) получаем, что

$$\|A_n-C_n\|_F^2=\sum_{i,j=1}^{n}|a_{ij}^n-c_{ij}^n|^2=\overline{o}(n). \qquad (15)$$

С другой стороны, из (13) следует, что

$$\min_{\sigma\in S_n}\left[\sum_{i=1}^{n}|\lambda(A_n)_i-\lambda(C_n)_{\sigma(i)}|^2\right]\le\|A_n-C_n\|_F^2=\overline{o}(n). \qquad (16)$$

Поэтому

$$\min_{\sigma\in S_n}\frac{|\sum_{i=1}^{n}\lambda_i(A_n))-\lambda_{\sigma(i)}(C_n)|}{n}\le\min_{\sigma\in S_n}\frac{\sum_{i=1}^{n}|\lambda_i(A_n))-\lambda_{\sigma(i)}(C_n)|}{n}\le$$

$$\le\min_{\sigma\in S_n}\frac{\sqrt{n}(\sum_{i=1}^{n}(\lambda_i(A_n))-\lambda_{\sigma(i)}(C_n))^2)^{1/2}}{n}\le\frac{\|A_n-C_n\|_F}{\sqrt{n}}=\overline{o}(1)\underset{n\to\infty}{\to}0,$$

так как $\frac{\|A_n-C_n\|_F^2}{n}=\overline{o}(1)$. Таким образом, мы показали, что

$$\min_{\sigma\in S_n}\frac{\sum_{i=1}^{n}\left|\lambda_i(A_n)-\lambda_{\sigma(i)}(C_n)\right|}{n}=\overline{o}(1)\underset{n\to\infty}{\to}0. \qquad (17)$$

Осталось показать, что из (17) следует (12). Отметим, что достаточно доказать справедливость формулы (12) для случая, когда полином *F* является мономом. Последнее сразу следует из следующих оценок:

$$\sum_{k=1}^{n}\left|c_k^r-d_k^r\right|\le r\cdot\max_{1\le k\le n}\{c_k^r,d_k^r\}\cdot\sum_{k=1}^{n}\left|c_k-d_k\right|=C\cdot\sum_{k=1}^{n}\left|c_k-d_k\right|. \qquad (18)$$

С учётом указанного в посылке теоремы 3 условия ограниченности спектров матриц $A_n$, $C_n$ из оценки (18) следует оценка:

$$\min_{\sigma\in S_n}\frac{\sum_{i=1}^{n}|(\lambda_i(A_n))^r-(\lambda_{\sigma(i)}(C_n))^r|}{n}\le C\cdot\min_{\sigma\in S_n}\frac{\sum_{i=1}^{n}|(\lambda_i(A_n))^r-(\lambda_{\sigma(i)}(C_n))^r|}{n}=\overline{o}(1)\underset{n\to\infty}{\to}0. \qquad (19)$$

Отсюда вытекает доказательство равенства (9) для случая, когда *F* является мономом. В случае, когда *F* является полиномом, сумму в равенстве (9) можно разбить на конечную сумму разностей, соответствующих отдельным мономам. Из этого представления, очевидно, следует справедливость (9) и для этого случая теорема 3 доказана.

**Замечание 2.** Отметим, что небольшая модификация доказательства позволяет доказать более сильное утверждение, именно, равенство (9) для случая, когда *F* является аналитической функцией в кольце, содержащем окружность единичного радиуса.

Теперь мы можем вывести теорему 1 из теоремы 2. Нам потребуются следующие два утверждения.

**Лемма.** *Пусть тёплицева матрица* $\{T_n\}$ *размером n порождена набором коэффициентов* $\{a_k\}_{k=-(n-1)}^{n-1}$. *Пусть* $C_n$ *– оптимально приближающая её по фробениусовой норме циркулянтная матрица. Тогда:*

$$\|T_n - C_n\|_F^2 = \sum_{k=1}^{n-1}\left(k - \frac{k^2}{n}\right)\cdot |\, a_{n-k} - a_{-k}\,|^2 .$$

*Доказательство.* Рассмотрим выражение $\|T_n - C_n\|_F^2$, где циркулянтная матрица $C_n$ порождена коэффициентами $\{c_k\}_{k=0}^{n-1}$ (элементы первого столбца). Сумма в выражении для фробениусовой нормы (10) может быть разбита на подсуммы, связанные с элементами $c_k$. То есть можно написать:

$$\|T_n - C_n\|_F^2 = (a_0 - c_0) + \sum_{k=1}^{n-1}\varepsilon_k , \tag{20}$$

$$\varepsilon_k = (n-k)\,|\, a_{-k} - c_k\,|^2 + k\,|\, a_{n-k} - c_k\,|^2 .$$

Очевидно, что минимум рассматриваемой фробениусовой нормы достигается при $c_0 = a_0$ и минимальном значении каждой из независимых величин $\varepsilon_k$. Элементарно показывается, что минимум $\varepsilon_k$ достигается при $c_k = \frac{n-k}{n}a_{-k} + \frac{k}{n}a_{n-k}$ и равен:

$$\tilde{\varepsilon}_k = \left(k - \frac{k^2}{n}\right)\cdot |\, a_{n-k} - a_{-k}\,|^2 ,\ k = 1, 2, \ldots, (n-1) .$$

Выполняя подстановку последнего выражения в (20), немедленно получаем требуемое утверждение. Лемма доказана.

**Теорема 4.** *Пусть* $f(e^{it}) \in L_\infty([-\pi,\pi])$, $T_n(f)$ *– последовательность тёплицевых матриц. Тогда найдётся такая последовательность циркулянтных матриц* $\{C_n\}$, *что*

$$\|T_n(f) - C_n\|_F^2 = \overline{o}(n) . \tag{21}$$

Доказательство данной теоремы фактически содержится в доказательстве теоремы 5.1 работы [12] и охватывает более общий случай символа из пространства $L_2$. Необходимое утверждение выводится из явного выражения элементов циркулянтной матрицы (см. лемму) и известного факта о суммируемости квадратов коэффициентов ряда Фурье для функции из $L_2$. Следовательно, оно справедливо и для функции из $L_\infty$.

Следующая теорема является хорошо известным результатом.

**Теорема 5.** *Пусть* $C_n = (c_{i,j}^n)_{i,j=1}^n, c_{i,j}^n = c^n((i-j)\bmod n)$ *– циркулянтная матрица размером* $n \times n$ *(см. [12]), где функция* $f_n(z) = c_0 + c_1 z + c_2 z^2 + \ldots + c_{n-1} z^{n-1}$ *называется символом циркулянтной матрицы. Тогда её собственные значения определяются формулой*

$$\lambda(C_n)_l = f_n\left(e^{\frac{i\pi l}{n}}\right). \qquad (22)$$

*Доказательство.* Доказательство этой теоремы хорошо известно, но мы здесь отметим схематично основные пункты доказательства этого хорошо известного факта. Отметим сначала, что собственные векторы циркулянтной матрицы совпадают с собственными векторами матрицы циклического сдвига *J:*

$$J = \begin{pmatrix} 0 & 1 & .... & 0 \\ 0 & 0 & ... & 0 \\ ... & ... & ... & 1 \\ 1 & ... & 0 & 0 \end{pmatrix},$$

многочленом от которой и является циклическая матрица $C_n = f(J)$ с символом, являющимся многочленом $f(t)$. Легко видеть, что собственные векторы матрицы *J* совпадают со столбцами матрицы, задающей дискретное преобразование Фурье. Таким образом, получаем, что и собственные векторы циклической матрицы совпадают со столбцами дискретного преобразования Фурье.

Покажем теперь, что циркулянтные матрицы коммутируют с операторами циклической группы сдвигов порядка *n*. Действительно, они, являясь многочленами от оператора сдвига *J*, коммутируют и с циклической группой $n$-го порядка, порождённой этим оператором *J*. Известно, что у перестановочных матриц общие собственные векторы. Поэтому отсюда следует, что у циркулянтной матрицы собственные векторы являются общими, с общими собственными векторами операторов циклической группы сдвигов. Так как матрица, составленная из этих векторов, задаёт дискретное преобразование Фурье, то применение этого дискретного преобразования приводит циркулянтную матрицу к диагональному виду (сравни с [14]). Как отмечено выше, циркулянтная матрица является многочленом (совпадающим с её символом) от порождающего элемента циклической группы операторов сдвига. Так как собственные числа порождающего циклическую группу оператора сдвига, очевидно, являются корнями из 1 (что вытекает из алгебраического соотношения – равенства тождественному оператору $n$-й степени этого оператора), то собственные числа циркулянтной матрицы являются значениями символа от корней $n$-й степени из 1, что и доказывает соотношение (22). Теорема 5 доказана.

*Доказательство теоремы 1.* Будем говорить, что последовательность элементов $\{x_n\}$ нормированного пространства (X, $||\cdot||$) приближает последовательность $\{y_n\}(\subset X)$ по норме $||\cdot||$, если $||x_n - y_n|| \to 0$ при $h \to \infty$. Построим последовательность циркулянтных матриц $\{C_n\}$, соответственно оптимально приближающую по фробениусовой норме последовательность матриц $\{T_n\}$, порожденную отрезком ряда Фурье функции *f*. Тогда из теоремы 4 следует, что $\|T_n - C_n\|^2 = \overline{o}(n)$. Применяя далее теорему 2, получаем, что собственные значения матриц $C_n$ и $T_n$ равнораспределены и, по теореме 5, могут быть представлены в виде

$$\lambda(C_n)_l = f_n\left(e^{\frac{i\pi l}{n}}\right).$$

Заметим, что в силу принадлежности функции $f$ к классу $L_\infty$ функция $f^s$ также принадлежит к классу $L_\infty$ и имеет место предел

$$\lim_{n\to\infty}\sum_{k=1}^{n}\left(f_n\left(e^{i\pi k/n}\right)\right)^s = \frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi}\left(f\left(e^{it}\right)\right)^s dt. \quad (23)$$

Равнораспределенность собственных значений матриц $C_n$ и $T_n$ означает, что для некоторой перестановки индексов $\sigma$ выполняется равенство

$$\lim_{n\to\infty}\min_{\sigma\in S_n}\frac{\sum_{i=1}^{n}F(\lambda_i(A_n)) - F(\lambda_{\sigma(i)}(C_n))}{n} = 0.$$

Отсюда и из равенства (23), очевидно, следует необходимое равенство из теоремы 1. Теорема 1 доказана.

**Замечание 3.** Отметим, что равнораспределённость последовательностей матриц $\{T_n\}$ и $\{C_n\}$ можно и непосредственно вывести из теорем 4 и 3.

Действительно, из теоремы 4 и теоремы Хофмана – Виланда следует, что для некоторой нумерации собственных значений справедлива оценка

$$\sum_{k=1}^{n}|\tau_{n,k} - \lambda_{n,k}|^2 \le \|T_n - C_n\|_F^2 = \bar{o}(n).$$

Тогда отсюда получаем оценку при $s=1$:

$$\left(\frac{1}{n}\sum_{k=1}^{n}|\tau_{n,k} - \lambda_{n,k}|\right)^2 = \frac{1}{n^2}\sum_{k=1}^{n}|\tau_{n,k} - \lambda_{n,k}|^2 + \frac{2}{n^2}\sum_{k\ne m}|\tau_{n,k} - \lambda_{n,k}|\cdot|\tau_{n,m} - \lambda_{n,m}| \le$$

(применяя неравенство Коши – Буняковского к удвоенным произведениям);

$$\le \frac{1}{n^2}R_n + \frac{2(n-1)}{n^2}R_n, \text{ где } R_n = \sum_{k=1}^{n}|\tau_{n,k} - \lambda_{n,k}|^2.$$

В силу теоремы Хофмана – Виланда $\frac{1}{n}R_n \to 0$ при $n\to\infty$, а значит, и исходное выражение также стремится к нулю.

Рассмотрим теперь случай $s=2$.

$$\frac{1}{n}\sum_{k=1}^{n}|\tau_{n,k}^2 - \lambda_{n,k}^2|^2 \le \frac{1}{n}\sqrt{\sum_{k=1}^{n}|\tau_{n,k} - \lambda_{n,k}|\cdot\sum_{k=1}^{n}|\tau_{n,k} + \lambda_{n,k}|}.$$

В силу ограниченности спектра в совокупности при всех $n$ данное выражение стремится к нулю при $n\to\infty$.

Для обоснования случая $s>2$ можно использовать оценку отдельного слагаемого:

$$\left|\tau_{n,k}^s - \lambda_{n,k}^s\right| \le \left|\tau_{n,k} - \lambda_{n,k}\right|\cdot\left|\sum_{m=0}^{s-1}\tau_{n,k}^m\lambda_{n,k}^{s-m-1}\right|,$$

где второй множитель в правой части также ограничен при всех $n$.

Вывод завершён.

**Заключение.** Выше было приведено доказательство слабого варианта теоремы Сегё для достаточно широкого класса функций, из которого следует описание спектра нормальных тёплицевых матриц. Тем не менее, вопрос об описании предельного спектра тёплицевых матриц с символом Хартвига – Фишера пока остаётся открытым. Исследованию этого вопроса о близости упомянутых выше множеств, то есть доказательству гипотезы данной работы, надеемся посвятить отдельную работу. За рамками данной статьи остались также вопросы об асимптотике собственных значений, которые пока представляются достаточно сложными и ожидают своего решения.

**Библиографический список**

1. Grenander V. Toeplitz Forms and Their Applications / V. Grenander, G. Szego. – Berkeley: Univ. of California Press, 1958.

2. Bottcher A. Introduction to Large Truncated Toeplitz Matrices / A. Bottcher, B. Silbermann. – New York : Universitext, Springer-Verlag, 1999.

3. Kadanoff L. Spin-Spin Correlation in the Two-Dimensional Ising Model. – Il / L. Kadanoff // Nuovo Cimento. – 1966. – B 44. – P. 276–305.

4. McCoy B.M. The Two-Dimensional Ising Model / B.M. McCoy, T.T. Wu. – Harvard : Harvard University Press, 1973.

5. Dai H. Asymptotics of eigenvalues of Toeplitz matrices / H. Dai, Z. Geary, L. Kadanoff // Journal of Statistical Mechanics. – 2009. P05012.

6. Forrester P.J. Applications and generalizations of Fisher-Hartwig asymptotics / P.J. Forrester, N.E. Frankel // Journal of Mathematical Physics. – 2004. – V. 45. – P. 2003–2028.

7. Замарашкин Н.Л. Распределение собственных и сингулярных чисел теплицевых матриц при ослабленных требованиях к производящей функции / Н.Л. Замарашкин, Е.Е. Тыртышников // Мат. сборник. – 1997. – Т. 188. – № 8. – С. 83–92.

8. Basor E. The Fisher-Hartvig Conjecture and Toeplitz Eingevalues / E. Basor, K. Morrison // Linear Algebra Appl. – 1994. – V. 202. – P. 129–142.

9. Hartvig R.E. Toeplitz determinants, some applications, theorems and conjectures / R.E. Hartvig, M.E. Fisher // Adv. Chem. Phys. – 1968. – V. 15. – P. 333–353.

10. Hartvig R.E. Asymptotic behavior of Toeplitz matrices and determinats / R.E. Hartvig, M.E. Fisher // Arch. Rat. Mech. Anal. – 1969. – V. 32. – P. 190–225.

11. Widom H. Eigenvalue distribution of nonselfadjoint Toeplitz matrices and the asymptotics of Toeplitz determinants in the case of nonvanising index / H. Widom // Operator Theory: Adv. And Appl. – 1990. – V. 48. – P. 387–421.

12. Tyrtyshnikov E.E. A unifying approach to some old and new theorems on distribution and clustering / E.E. Tyrtyshnikov // Linear algebra and its applications. – 1996. – V. 232. – P. 1–43.

13. Hoffmann A.J. The variation of the spectrum of a normal matrix / A.J. Hoffmann, H.W. Wielandt // Duke. Math. J. – 1953. – V. 20. – P. 37–39.

14. Эдвардс Р. Ряды Фурье в современном изложении / Р. Эдвардс. – М.: Мир, 1985.

Материал поступил в редакцию 13.05.11.

**References**

1. Grenander V. Toeplitz Forms and Their Applications / V. Grenander, G. Szego. – Berkeley: Univ. of California Press, 1958.

2. Bottcher A. Introduction to Large Truncated Toeplitz Matrices / A. Bottcher, B. Silbermann. – New York : Universitext, Springer-Verlag, 1999.

3. Kadanoff L. Spin-Spin Correlation in the Two-Dimensional Ising Model. – Il / L. Kadanoff // Nuovo Cimento. – 1966. – B 44. – P. 276–305.

4. McCoy B.M. The Two-Dimensional Ising Model / B.M. McCoy, T.T. Wu. – Harvard : Harvard University Press, 1973.

5. Dai H. Asymptotics of eigenvalues of Toeplitz matrices / H. Dai, Z. Geary, L. Kadanoff // Journal of Statistical Mechanics. – 2009. P05012.

6. Forrester P.J. Applications and generalizations of Fisher-Hartwig asymptotics / P.J. Forrester, N.E. Frankel // Journal of Mathematical Physics. – 2004. – V. 45. – P. 2003–2028.

7. Zamarashkin N.L. Raspredelenie sobstvenny`x i singulyarny`x chisel tyoplicevy`x matricz pri oslablenny`x trebovaniyax k proizvodyashhej funkcii / N.L. Zamarashkin, E.E. Ty`rty`shnikov // Mat. sbornik. – 1997. – T. 188. – # 8. – S. 83–92. – In Russian.

8. Basor E. The Fisher-Hartvig Conjecture and Toeplitz Eingevalues / E. Basor, K. Morrison // Linear Algebra Appl. – 1994. – V. 202. – P. 129–142.

9. Hartvig R.E. Toeplitz determinants, some applications, theorems and conjectures / R.E. Hartvig, M.E. Fisher // Adv. Chem. Phys. – 1968. – V. 15. – P. 333–353.

10. Hartvig R.E. Asymptotic behavior of Toeplitz matrices and determinants / R.E. Hartvig, M.E. Fisher // Arch. Rat. Mech. Anal. – 1969. – V. 32. – P. 190–225.

11. Widom H. Eigenvalue distribution of nonselfadjoint Toeplitz matrices and the asymptotics of Toeplitz determinants in the case of nonvanising index / H. Widom // Operator Theory: Adv. And Appl. – 1990. – V. 48. – P. 387–421.

12. Tyrtyshnikov E.E. A unifying approach to some old and new theorems on distribution and clustering / E.E. Tyrtyshnikov // Linear algebra and its applications. – 1996. – V. 232. – P. 1–43.

13. Hoffmann A.J. The variation of the spectrum of a normal matrix / A.J. Hoffmann, H.W. Wielandt // Duke. Math. J. – 1953. – V. 20. – P. 37–39.

14. E`dvards R. Ryady` Fur`e v sovremennom izlozhenii / R. E`dvards. – M.: Mir, 1985. – In Russian.

## ON DISTRIBUTION OF EIGEN VALUES OF TOEPLITZ MATRICES WITH HARTWIG-FISHER SYMBOL

**A.A. BATALSHCHIKOV, V.A. STUKOPIN**
(Don State Technical University)

*Toeplitz matrices with Hartwig-Fisher symbol are investigated. The extension of Szego theorem for normal Toeplitz matrices with complex-valued symbol from $L_\infty$ space on the unit circle is formulated and proved.*

***Keywords:*** *Toeplitz matrix, Hartwig-Fisher symbol, Szego theorem.*

УДК 539.3

# ТРЕХМЕРНАЯ КОНТАКТНАЯ ЗАДАЧА О ВЗАИМОДЕЙСТВИИ УПРУГОГО СЛОЯ С ДВУМЯ ШТАМПАМИ ПРИ УЧЕТЕ ТРЕНИЯ*

**Д.А. ПОЖАРСКИЙ, А.А. МОЛЧАНОВ**
(Донской государственный технический университет)

*Изучены пространственные контактные задачи для упругого слоя конечной толщины, в одну грань которого симметрично вдавливаются два одинаковых жестких эллиптических штампа с учетом трения при разных типах граничных условий на другой грани. Задачи сведены к интегральным уравнениям относительно контактного давления, которые решены методом Галанова.*
***Ключевые слова:*** *теория упругости, контактная задача, слой, трение, метод Галанова.*

**Введение.** Исследованы трехмерные контактные задачи теории упругости при учете трения о взаимодействии слоя с двумя симметричными штампами, расположенными на одной его грани. Другая грань слоя находится в условиях жесткой или скользящей заделки. Штампы имеют форму эллиптических параболоидов, начинают удаляться друг от друга или сближаться. Области контакта неизвестны. Ранее аналогичные задачи с трением рассматривались для случая одного штампа на слое [1 – 4] и на полосе [5]. В работе [6] рассматривается пространственная задача о контакте с упругим слоем системы двух симметричных эллиптических штампов с плоской подошвой (асимптотический метод решения).

**Постановка задачи.** В декартовых координатах рассмотрим слой $\{x, y \in (-\infty, \infty), z \in [0, h]\}$ толщиной $h$, нижняя грань которого $z = 0$ находится в жесткой или скользящей заделке (задачи А и Б соответственно). Упругий материал слоя имеет коэффициент Пуассона $\nu$ и модуль сдвига $G$. Верхняя грань слоя $z = h$ взаимодействует с двумя одинаковыми штампами. Формы основания штампов имеют вид эллиптических параболоидов и описываются функциями

$$g_{\pm}(x,y) = (x \pm c)^2/(2R_1) + y^2/(2R_2),\ R_2 \geq R_1. \tag{1}$$

Между поверхностью слоя и штампов действуют силы кулоновского трения с коэффициентом трения $\mu$. Штампы начинают достаточно медленно двигаться вдоль оси $x$ так, что задачи симметричны относительно оси $y$. Силы трения направлены против движения. При $\mu > 0$ штампы удаляются друг от друга, а при $\mu < 0$ — начинают сближаться. К штампам приложены симметричные касательные силы $T$, нормальные силы $P$. Пусть осадка штампов равна $\delta$, а перекос отсутствует. Симметричные по $y$ области контакта $\Omega_{\pm}$ неизвестны (область $\Omega_+$ при $x < 0$).

При известных величинах $G$, $\nu$, $\mu$, $h$, $c$, $R_1$, $R_2$ и $\delta$ и заданной функции $f(r,z)$ требуется определить контактные давления $\sigma_z(x,y,h) = -q(x,y)$, $(x,y) \in \Omega = \Omega_+ \cup \Omega_-$, а также сами области контакта $\Omega_{\pm}$. Затем можно найти, например, величину $P$ из условия равновесия штампа

$$P = \iint_{\Omega_+} q(x,y)\,dx\,dy\,. \tag{2}$$

Из аналогичных интегральных условий можно найти величину $T$, а также плечи приложения сил $P$ и $T$.

**Решение задачи.** Предположим, что области контакта априори содержатся в прямоугольниках $S_{\pm} = \{|x \pm c| \leq a,\ |y| \leq b\},\ b \geq a,\ c \geq a.$

Для вывода интегральных уравнений (ИУ) контактных задач А, Б используется интегральное преобразование Фурье и закон Кулона. В результате придем к ИУ на двух участках контакта, которое после введения безразмерных обозначений

$$x' = \frac{x}{b},\ y' = \frac{y}{b},\ \lambda = \frac{h}{b},\ c' = \frac{c}{b},\ \varepsilon_0 = \frac{a}{b},\ \delta' = \frac{\delta}{b},\ A = \frac{b}{2R_1},\ B = \frac{b}{2R_2}, \tag{3}$$

* Работа поддержана грантом РФФИ 09-01-00004.

$$q'(x',y') = \frac{q(x,y)}{2\pi\theta}, \; P' = \frac{P}{2\pi\theta b^2}, \; \theta = \frac{G}{1-\nu}, \; \Omega' \leftrightarrow \Omega, \; \Omega'_{\pm} \leftrightarrow \Omega_{\pm}, \; S'_{\pm} \leftrightarrow S_{\pm} \tag{4}$$

можно записать в виде (штрихи далее опускаем):

$$\iint_{\Omega} q(\xi,\eta)\left[\frac{1}{R_-} + \varepsilon\frac{x-\xi}{R_-^2} + \frac{1}{\lambda}T\left(\frac{x-\xi}{\lambda},\frac{y-\eta}{\lambda}\right)\right] d\xi d\eta = f(x,y), \quad (x,y)\in\Omega, \tag{5}$$

$$f(x,y) = \delta - A(x \pm c)^2 - By^2, \quad (x,y)\in\Omega_{\pm}, \tag{6}$$

$$R_{\pm} = [(x\pm\xi)^2 + (y-\eta)^2]^{1/2}, \quad \varepsilon = \mu(1-2\nu)/(2-2\nu), \tag{7}$$

$$T(t,\tau) = \int_0^\infty [L_1(u)-1]J_0(u\sqrt{t^2+\tau^2})du + \frac{\varepsilon t}{\sqrt{t^2+\tau^2}}\int_0^\infty [L_2(u)-1]J_1(u\sqrt{t^2+\tau^2})du. \tag{8}$$

Здесь $J_n(u)$ — функции Бесселя. В ядре ИУ (4) выделена главная часть.

Для задачи А (жесткая заделка)

$$L_1(u) = \frac{2\kappa\,\mathrm{sh}2u - 4u}{2\kappa\,\mathrm{ch}2u + 4u^2 + 1 + \kappa^2}, \quad \kappa = 3 - 4\nu, \tag{9}$$

$$L_2(u) = \frac{2\kappa\,\mathrm{ch}2u - 4(1-2\nu)^{-1}u^2 - 2\kappa}{2\kappa\,\mathrm{ch}2u + 4u^2 + 1 + \kappa^2}, \tag{10}$$

а для задачи Б (скользящая заделка)

$$L_1(u) = \frac{\mathrm{ch}2u - 1}{\mathrm{sh}2u + 2u}, \quad L_2(u) = \frac{\mathrm{sh}2u - 2(1-2\nu)^{-1}u}{\mathrm{sh}2u + 2u}. \tag{11}$$

Введенный в (3) безразмерный параметр $\lambda$ характеризует относительную толщину упругого слоя с учетом симметрии задач $q(-x,y) = q(x,y)$. Тогда уравнение (5) сводится к ИУ на одном участке контакта

$$\iint_{\Omega_-} q(\xi,\eta)\left[\frac{1}{R_-} + \frac{1}{R_+} + \varepsilon\frac{x-\xi}{R_-^2} + \varepsilon\frac{x+\xi}{R_+^2} + \frac{1}{\lambda}T\left(\frac{x-\xi}{\lambda},\frac{y-\eta}{\lambda}\right) + \right.$$
$$\left. + \frac{1}{\lambda}T\left(\frac{x+\xi}{\lambda},\frac{y-\eta}{\lambda}\right)\right] d\xi d\eta = \delta - A(x-c)^2 - By^2, \quad (x,y)\in\Omega_-. \tag{12}$$

После замен:

$$x_* = x - c, \quad \xi_* = \xi - c, \quad q_*(x_*,y) = q(x,y), \quad \Omega_* \leftrightarrow \Omega_-, \; S_* \leftrightarrow S_- \tag{13}$$

ИУ (12) можно переписать в форме (звездочки далее опускаем):

$$\iint_{\Omega} q(\xi,\eta)K(\xi,\eta,x,y) = g(x,y), \quad (x,y)\in\Omega, \tag{14}$$

$$K(\xi,\eta,x,y) = \frac{1}{R_-} + \frac{1}{R_1} + \varepsilon\frac{x-\xi}{R_-^2} + \varepsilon\frac{x+\xi+2c}{R_1^2} +$$
$$+ \frac{1}{\lambda}T\left(\frac{x-\xi}{\lambda},\frac{y-\eta}{\lambda}\right) + \frac{1}{\lambda}T\left(\frac{x+\xi+2c}{\lambda},\frac{y-\eta}{\lambda}\right), \tag{15}$$

$$g(x,y) = \delta - Ax^2 - By^2, \quad R_1 = [(x+\xi+2c)^2 + (y-\eta)^2]^{1/2}. \tag{16}$$

При численном решении уравнения (14) применим метод нелинейных граничных ИУ типа Гаммерштейна, предложенный Галановым [7, 8]. Уравнение (14) дополним условиями неотрицательности контактного давления в области контакта, отсутствия контакта и обращения в нуль давления в дополнительной области $S\backslash\Omega$, записав их все в виде системы

$$\left.\begin{aligned} &\int_S K(N,M)q(N)dN = g(M), \quad q(M)\ge 0, \quad M\in\Omega, \\ &\int_S K(N,M)q(N)dN > g(M), \quad q(M)=0, \quad M\in S\setminus\Omega, \end{aligned}\right\} \tag{17}$$

где введены обозначения $M=(x,y),\ N=(\xi,\eta)$.

Идея метода состоит в представлении искомого давления в форме

$$q = q(M) = q^+(M) + q^-(M), \tag{18}$$

где введены нелинейные операторы

$$q^+(M) = \sup\{q^+(M),0\}, \quad q^-(M) = \inf\{q^-(M),0\}. \tag{19}$$

При учете (17) интегральное неравенство (16) будет удовлетворено в результате решения нелинейного операторного уравнения типа Гаммерштейна:

$$\Theta\, p = 0 \ \ (M\in\Omega), \quad \Theta\, p \equiv p^- + K_* p^+ - g, \tag{20}$$

где $p_* = p_*(M),\ p_*^{\pm} = p_*^{\pm}(M),\ g = g(M)$,

$$K_* p^+ = \int_S K(N,M)p^+(N)dN. \tag{21}$$

Можно доказать, что система (17) эквивалентна уравнению (20) [7]. Исследованы вопросы существования и единственности решения уравнения типа (20) [7]. Для численного решения уравнения (20) применим метод М. А. Красносельского, основанный на последовательных приближениях [7].

Прямоугольник *S* покроем сеткой из *m* узлов с учетом отсутствия симметрии по координате *x*. Ясно, что $c \ge \varepsilon_0$, $\varepsilon_0 \le 1$. Для проверки точности расчета ядра (15) можно использовать интеграл [9]

$$\int_0^\infty \exp(-Cu)J_n(Du)du = \frac{D^n}{\sqrt{C^2+D^2}\,[C+\sqrt{C^2+D^2}\,]^n}, \quad n=0;1. \tag{22}$$

Исследуя поведение выражений $L_n(u)-1$ ($n = 0;1$) при $u \to +\infty$ для функций (9) – (11), положим в (22) $C = 2$. При выполнении условия

$$\lambda \ge \sqrt{4(1+c)^2+1}\Big/\left(4\sqrt{5}\right) \tag{23}$$

для расчета ядра (15) можно использовать квадратурную формулу Гаусса по 32 узлам.

**Численные эксперименты.** В табл. 1, 2 для задач А и Б соответственно даны значения контактного давления $q(x,0)$ и вдавливающей штамп силы *P*. Расчеты, результаты которых приведены в таблицах, сделаны при $\nu = 0,3$, $\delta = 0,004$, $A_0 = 0,1$, $B_0 = 0,005$, $\varepsilon_0 = c = 0,15$ и разных значениях $\lambda$ и $\mu$.

Таблица 1

Значения давления и вдавливающей силы *P* в задаче А

| $\lambda$ | $\mu$ | $q(x,0)\times10^3$ | | | | | $P\times10^3$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | $x$=–0,075 | –0,0375 | 0 | 0,0375 | 0,075 | |
| 1 | 0 | 1,77 | 3,00 | 3,39 | 3,32 | 2,81 | 0,640 |
| 1 | 0,2 | 1,92 | 3,06 | 3,38 | 3,25 | 2,66 | 0,628 |
| 1 | –0,2 | 1,64 | 2,94 | 3,39 | 3,39 | 2,95 | 0,651 |
| 0,5 | 0 | 3,12 | 3,96 | 4,32 | 4,25 | 3,77 | 0,954 |
| 0,5 | 0,2 | 3,23 | 4,00 | 4,31 | 4,18 | 3,64 | 0,941 |
| 0,5 | –0,2 | 3,00 | 3,91 | 4,32 | 4,31 | 3,88 | 0,966 |
| 0,3 | 0 | 4,63 | 5,42 | 5,70 | 5,55 | 4,99 | 1,42 |
| 0,3 | 0,2 | 4,74 | 5,48 | 5,71 | 5,52 | 4,91 | 1,41 |
| 0,3 | –0,2 | 4,51 | 5,35 | 5,67 | 5,58 | 5,07 | 1,42 |

Для задачи Б значения давления и силы меньше, чем для задачи А, как и должно быть. В обеих задачах контактное давление меньше на той стороне области контакта, которая ближе к участку, расположенному между штампами.

Таблица 2

Значения давления и вдавливающей силы $P$ в задаче Б

| $\lambda$ | $\mu$ | $q(x,0)\times10^3$ | | | | | $P\times10^3$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | $x$=–0,075 | –0,0375 | 0 | 0,0375 | 0,075 | |
| 1 | 0 | 1,60 | 2,89 | 3,28 | 3,20 | 2,68 | 0,595 |
| 1 | 0,2 | 1,74 | 2,95 | 3,27 | 3,13 | 2,53 | 0,585 |
| 1 | –0,2 | 1,46 | 2,82 | 3,27 | 3,27 | 2,82 | 0,605 |
| 0,5 | 0 | 2,79 | 3,65 | 4,02 | 3,95 | 3,46 | 0,851 |
| 0,5 | 0,2 | 2,92 | 3,70 | 4,01 | 3,89 | 3,34 | 0,842 |
| 0,5 | –0,2 | 2,66 | 3,59 | 4,01 | 4,00 | 3,57 | 0,858 |
| 0,3 | 0 | 4,00 | 4,81 | 5,13 | 5,02 | 4,50 | 1,22 |
| 0,3 | 0,2 | 4,13 | 4,89 | 5,17 | 5,02 | 4,46 | 1,23 |
| 0,3 | –0,2 | 3,88 | 4,73 | 5,07 | 5,01 | 4,53 | 1,21 |

**Заключение.** Решены новые пространственные контактные задачи с неизвестной областью контакта для упругого слоя о взаимодействии двух одинаковых эллиптических в плане штампов с учетом трения при различных граничных условиях на другой грани. При использовании метода нелинейных граничных интегральных уравнений с учетом симметрии задач определены области контакта, давления в этих областях, связи между силами и осадками штампов. Сделаны расчеты при разных значениях относительной толщины слоя и коэффициента трения.

**Библиографический список**

1. Чебаков М.И. Пространственная контактная задача для слоя с учетом трения в неизвестной области контакта / М.И. Чебаков // Доклады РАН. – 2002. – Т. 383. – № 1. – С. 67–70.

2. Чебаков М.И. Трехмерная контактная задача для слоя с учетом трения в неизвестной области контакта / М.И. Чебаков // Известия РАН. Механика твердого тела. – 2002. – № 6. – С. 59–68.

3. Чебаков М.И. Пространственные контактные задачи для слоя с учетом сил трения в зоне контакта / М.И. Чебаков, Х. Лоренц // Современные проблемы механики сплошной среды: тр. 6-й междунар. науч. конф. 19–23 октября 2000 г. – Ростов н/Д: Изд-во СКНЦ ВШ, 2000. – С. 232–235.

4. Чебаков М.И. Учет сил трения в пространственной контактной задаче для закрепленного слоя / М.И. Чебаков // Современные проблемы механики сплошной среды: тр. 7-й междунар. науч. конф. памяти акад. РАН И.И. Воровича, 22–25 октября 2001 г. – Ростов н/Д: Изд-во СКНЦ ВШ, 2001. – С. 205–209.

5. Александров В.М. Аналитические методы в контактных задачах теории упругости / В.М. Александров, М.И. Чебаков. – М.: Физматлит, 2004. – 301 с.

6. Соболь Б.В. Пространственная задача о контакте системы штампов с упругим слоем / Б.В. Соболь, И.М. Пешхоев // Экологический вестник научных центров ЧЭС. – 2011. – № 1. – С. 69-76.

7. Галанов Б.А. Метод граничных уравнений типа Гаммерштейна для контактных задач теории упругости в случае неизвестных областей контакта / Б.А. Галанов // Прикладная математика и механика. – 1985. – Т. 49. – Вып. 5. – С. 827–835.

8. Александров В.М. Неклассические пространственные задачи механики контактных взаимодействий упругих тел / В.М. Александров, Д.А. Пожарский. – М.: Факториал, 1998. – 288 с.

9. Прудников А.П. Интегралы и ряды. Специальные функции / А.П. Прудников, Ю.А. Брычков, О.И. Маричев. – М.: Наука, 1983. – 752 с.

Материал поступил в редакцию 30.05.11.

**References**

1. Chebakov M.I. Prostranstvennaya kontaktnaya zadacha dlya sloya s uchyotom treniya v neizvestnoj oblasti kontakta / M.I. Chebakov // Doklady` RAN. – 2002. – T. 383. – # 1. – S. 67–70. – In Russian.

2. Chebakov M.I. Tryoxmernaya kontaktnaya zadacha dlya sloya s uchyotom treniya v neizvestnoj oblasti kontakta / M.I. Chebakov // Izvestiya RAN. Mexanika tvyordogo tela. – 2002. – # 6. – S. 59–68. – In Russian.

3. Chebakov M.I. Prostranstvenny`e kontaktny`e zadachi dlya sloya s uchyotom sil treniya v zone kontakta / M.I. Chebakov, X. Lorencz // Sovremenny`e problemy` mexaniki sploshnoj sredy`: tr. 6-j mezhdunar. nauch. konf. 19–23 oktyabrya 2000 g. – Rostov n/D: Izd-vo SKNCZ VSH, 2000. – S. 232–235. – In Russian.

4. Chebakov M.I. Uchyot sil treniya v prostranstvennoj kontaktnoj zadache dlya zakreplyonnogo sloya / M.I. Chebakov // Sovremenny`e problemy` mexaniki sploshnoj sredy`: tr. 7-j mezhdunar. nauch. konf. pamyati akad. RAN I.I. Vorovicha, 22–25 oktyabrya 2001 g. – Rostov n/D: Izd-vo SKNCZ VSH, 2001. – S. 205–209. – In Russian.

5. Aleksandrov V.M. Analiticheskie metody` v kontaktny`x zadachax teorii uprugosti / V.M. Aleksandrov, M.I. Chebakov. – M.: Fizmatlit, 2004. – 301 s. – In Russian.

6. Sobol` B.V. Prostranstvennaya zadacha o kontakte sistemy` shtampov s uprugim sloem / B.V. Sobol`, I.M. Peshxoev // E`kologicheskij vestnik nauchny`x centrov CHE`S. – 2011. – # 1. – S. 69-76. – In Russian.

7. Galanov B.A. Metod granichny`x uravnenij tipa Gammershtejna dlya kontaktny`x zadach teorii uprugosti v sluchae neizvestny`x oblastej kontakta / B.A. Galanov // Prikladnaya matematika i mexanika. – 1985. – T. 49. – Vy`p. 5. – S. 827–835. – In Russian.

8. Aleksandrov V.M. Neklassicheskie prostranstvenny`e zadachi mexaniki kontaktny`x vzaimodejstvij uprugix tel / V.M. Aleksandrov, D.A. Pozharskij. – M.: Faktorial, 1998. – 288 s. – In Russian.

9. Prudnikov A.P. Integraly` i ryady`. Special`ny`e funkcii / A.P. Prudnikov, Yu.A. Bry`chkov, O.I. Marichev. – M.: Nauka, 1983. – 752 s. – In Russian.

## THREE-DIMENSIONAL CONTACT PROBLEM ON INTERACTION BETWEEN ELASTIC LAYER AND TWO PUNCHES UPON FRICTION

**D.A. POZHARSKIY, A.A. MOLCHANOV**
(Don State Technical University)

*Spatial contact problems are investigated for the finite elastic layer in one face of which two identical rigid elliptical punches are symmetrically indented taking into account friction under various types of boundary conditions on the other face. The problems are reduced to the integral equations relating to the contact pressure. The problems are solved by Galanov's method.*
***Keywords**: theory of elasticity, contact problem, layer, friction, Galanov's method.*

# ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 631.3.022

## НОРМАЛЬНАЯ СОСТАВЛЯЮЩАЯ КРИТИЧЕСКОЙ СИЛЫ РЕЗАНИЯ ПРИ ПОДПОРНОМ И БЕСПОДПОРНОМ ИЗМЕЛЬЧЕНИИ ТОЛСТОСТЕБЕЛЬНЫХ КУЛЬТУР НОЖАМИ ДИСКОВОГО ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЯ

**А.К. ФОКЕЕВ**
(Рубцовский индустриальный институт (филиал) Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова),
**И.А. БУДАШОВ**
(Рубцовский проектно-конструкторский технологический институт)

*Рассматривается влияние трёх ножей разной конструкции на нормальную составляющую критической силы резания толстостебельных культур. Представлена формула нормальной составляющей критической силы, возникающей от воздействия ножа с насечкой лезвия. Описывается вывод формул нормальной составляющей критической силы при подпорном и бесподпорном измельчении толстостебельных культур.*
***Ключевые слова:*** *нормальная составляющая критической силы резания, подпорное и бесподпорное измельчение, ножи, активная длина лезвия.*

**Введение.** В настоящее время проблема нахождения критической силы резания при подпорном и бесподпорном измельчении толстостебельных культур в зависимости от конструктивных и кинематических параметров ротационно-дискового измельчителя изучена недостаточно. В данной статье сделана попытка приблизиться к решению вопроса о нахождении нормальной составляющей критической силы резания.

**Нормальная составляющая критической силы резания стебля без учета защемления.** Для проведения экспериментальных исследований по измельчению толстостебельных культур нами была сконструирована и изготовлена специальная экспериментальная установка, воспроизводящая работу измельчающего аппарата ротационно-дискового типа с применением трёх разных по форме сменных ножей в соответствии с рис. 1.

Из всех составляющих критической силы, действующей в зоне резания при подпорном измельчении, наибольшее значение имеет сопротивление резанию, нормальное к лезвию, составляющая которого определяется по формуле

$$N_{P_{рез}} = \delta \cdot \Delta s \cdot \sigma_p, \tag{1}$$

где δ – толщина (острота) лезвия, м; Δs – длина активной части лезвия, м; $\sigma_р$ – нормальные (контактные) разрушающие напряжения, возникающие в перерезаемом стебле, Н/м$^2$.

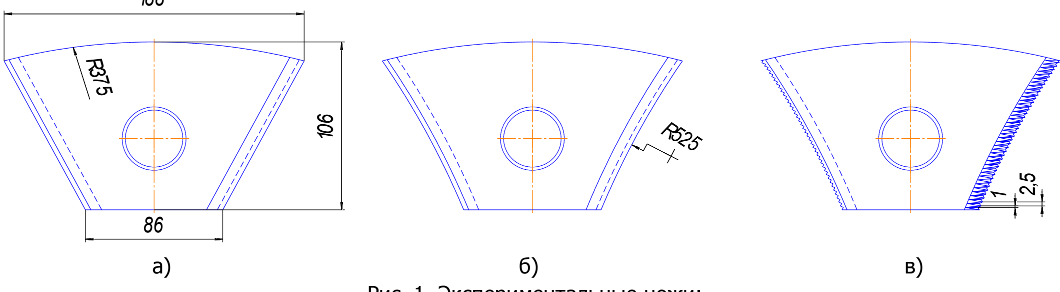



Рис. 1. Экспериментальные ножи:
а – с прямым лезвием; б – с криволинейным лезвием; в – с насечкой

Исследованиями [1] установлено, что сила резания в среднем составляет 0,6$P_{кр}$ ($P_{кр}$ – критическое усилие резания). Следовательно, нормальная составляющая критической силы

$$N = \frac{\delta \cdot \Delta s \cdot \sigma_p}{0,6} = 1,6 \cdot \delta \cdot \Delta s \cdot \sigma_p . \qquad (2)$$

Длину активной части прямого лезвия в соответствии с рис. 2 можно выразить через величину b, предполагая, что дуга $l$ является прямым отрезком, так как значение $h_{ст}$ при данной конструкции ножей меньше 0,03 мм:

$$\Delta s = \frac{b}{\cos\alpha}, \qquad (3)$$

где b – перемещение ножа в растительной массе в направлении подачи, мм; α – угол между кромкой лезвия ножа и направлением подачи стеблей при наиболее нагруженной позиции активной части лезвия, град.

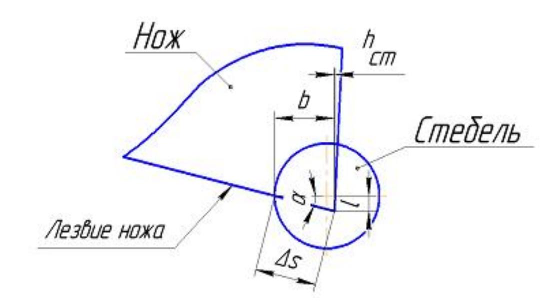



Рис. 2. Схема вхождения ножа с прямым лезвием в стебель

В свою очередь b можно выразить по формуле

$$b = \frac{60s}{K \cdot n}, \qquad (4)$$

и, как следствие,

$$N = \frac{1,(6) \cdot \delta \cdot b \cdot \sigma_p}{\cos\alpha} = \frac{60 \cdot 1,6 \cdot \delta \cdot s \cdot \sigma_p}{K \cdot n \cdot \cos\alpha}, \qquad (5)$$

где 60 – переводной коэффициент из секунд в минуты; s – подача, м/с; K – число ножей; n – число оборотов диска с ножами в минуту.

При криволинейном лезвии длина его активной части будет определяться как хорда радиусного участка Δs. Величина радиусного участка Δs в процессе резания будет постоянно изменяться в зависимости от варьирования подачи и числа оборотов.

Определим значение нормальной составляющей критической силы при резании ножом с насечкой криволинейного лезвия. Насечку лезвия можно рассмотреть как относительную зависимость от ненасечённого криволинейного лезвия, только нагрузка от срезаемого стебля будет располагаться не равномерно по лезвию, а иметь пиковый характер с наибольшими значениями на вершинах зубьев и наименьшими во впадинах между зубьями в соответствии с [1, с. 14] и эпюрой напряжений имитации работы зуба насечки в расчётном приложении Simulation проектной программы Solid Works Premium 2009.

Рассмотрим сплошную неравномерно распределённую нагрузку на участок лезвия с зубом от силы, приходящейся на зуб, в соответствии с рис. 3.

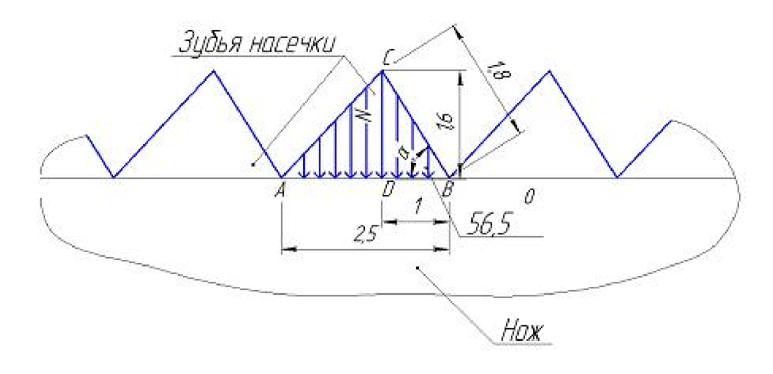



Рис. 3. Схема распределения нагрузки по основанию AB зуба насечки

В схеме кривая АСВ является грузовой линией, а площадь треугольника АВС – грузовой площадью. Основание АВ зуба работает на нагрузку, распределённую по закону треугольника, так как наибольшее напряжение сосредоточено в точке С, а наименьшие напряжения – в контуре зуба во впадинах насечки. Наибольшая ордината расчётной нагрузки (высота CD треугольника) соответствует силе $N_з = \frac{N}{z}$ (где z – число зубьев на участке Δs), так как в точке С стебель начинает разделяться на части. Грузовая площадь, действующая на основание АВ, равна $\frac{1}{2}\cdot AB\cdot BC\cdot\sin\alpha$. Величину АВ можно выразить через сторону CD, соответствующую $N_з$, то есть АВ = 2,5 = 1,5625·1,6 = 1,5625CD = 1,5625$N_з$. Подставив данное отношение в формулу грузовой площади, получим выражение

$$\frac{1}{2}1{,}5625N\cdot 1{,}8\cdot\sin 56{,}5^{\circ} = 1{,}17N_з .$$

Таким образом, при определении нормальной составляющей критической силы от ножа с насечкой длина активной части лезвия определяется аналогично криволинейному лезвию, а сама формула для ножа предложенной конструкции примет вид

$$N = 1{,}17\cdot N_з\cdot z = \frac{1{,}(6)\cdot\delta\cdot b\cdot\sigma_p}{\cos\alpha} = \frac{60\cdot 1{,}(6)\cdot 1{,}17\cdot\delta\cdot s\cdot\sigma_p}{K\cdot n\cdot\cos\alpha}. \qquad (6)$$

Проведённый нами анализ печатных изданий выявил отсутствие изучения влияния на процесс энергоёмкости наличия или отсутствия контрножа (комплексного влияния параметров лезвия ножа, геометрических и механических свойств стеблей на энергоёмкость при подпорном и бесподпорном резании).

**Нормальная составляющая критической силы резания стебля, защемленного в основании (бесподпорное резание).** Приступая к определению опорных реакций стебля, возникающих при ударе стебля ножом, необходимо схематизировать опорные части, заменяя действительное растение приближающейся к ней схемой.

На схеме резания (рис. 4) свободно стоящий стебель без опоры под углом к вертикали Θ можно представить как консольную балку, защемлённую в основании и подвергающуюся действию силы $P_{кр}$ на высоте резания H от защемления.

а) б)

Рис. 4. Схема стрелы прогиба свободно стоящего стебля без опоры от воздействия критической силы: а – стебель наклонён навстречу направлению подачи измельчителя; б – вид слева

Стрела прогиба в сечении $BB_1$, мм [2, 3]:

$$f = \frac{P_{кр}\cdot\left(\frac{H}{\cos\gamma}\right)^3}{3E\cdot I_x} = \frac{64\cdot P_{кр}\cdot\left(\frac{H}{\cos\gamma}\right)^3}{3E\cdot\pi\cdot d^4}, \qquad (7)$$

где H – высота резания, м; γ – угол отклонения от вертикали по направлению подачи, град.; E – модуль упругости стебля при растяжении, Н/м$^2$; $I_x$ – осевой момент инерции сечения стебля, м$^4$; d – диаметр стебля, м.

Откуда

$$P_{кр} = \frac{0{,}04688\cdot f\cdot E\cdot\pi\cdot d^4}{\left(\frac{H}{\cos\gamma}\right)^3}, \qquad (8)$$

а нормальная составляющая этой силы

$$N = \frac{0{,}04688\cdot f\cdot E\cdot\pi\cdot d^4\cdot\cos\phi}{\left(\frac{H}{\cos\gamma}\right)^3}, \qquad (9)$$

где φ – угол скользящего резания, град.

Стрела прогиба стебля вычисляется по формуле [4]

$$f=\sqrt{L^2-H^2}\,. \qquad (10)$$

Так как силы в выражениях (5) и (9) теоретически одинаковы, то для прямого и криволинейного лезвия N можно выразить как:

$$N=\frac{60\cdot 1,(6)\cdot\delta\cdot s\cdot\sigma_p\cdot H^3+0,04688 f\cdot E\cdot\pi\cdot d^4\cdot\cos\phi\cdot\cos^3\gamma\cdot K\cdot n\cdot\cos\alpha}{2K\cdot n\cdot\cos\alpha\cdot H^3}=$$
$$=\frac{50\delta\cdot s\cdot\sigma_p\cdot H^3+0,02344 f\cdot E\cdot\pi\cdot d^4\cdot\cos\phi\cdot\cos^3\gamma\cdot K\cdot n\cdot\cos\alpha}{K\cdot n\cdot\cos\alpha\cdot H^3}. \qquad (11)$$

Для лезвия с насечкой:

$$N=\frac{60\cdot 1,(6)\cdot 1,17\cdot\delta\cdot s\cdot\sigma_p\cdot H^3+0,04688 f\cdot E\cdot\pi\cdot d^4\cdot\cos\phi\cdot\cos^3\gamma\cdot K\cdot n\cdot\cos\alpha}{2K\cdot n\cdot\cos\alpha\cdot H^3}=$$
$$=\frac{58,5\delta\cdot s\cdot\sigma_p\cdot H^3+0,02344 f\cdot E\cdot\pi\cdot d^4\cdot\cos\phi\cdot\cos^3\gamma\cdot K\cdot n\cdot\cos\alpha}{K\cdot n\cdot\cos\alpha\cdot H^3}. \qquad (12)$$

Если разрешающей способности измерительного инструмента для определения отличия величины стерни L от высоты среза H на определённом этапе будет недостаточно, а это произойдёт, если прогиб стебля по сравнению с высотой резания будет очень мал (с углом поворота в плоскости среза меньше 0,5°), то расчёт критической силы будем производить через угол поворота сечения. Критическим условием будем считать пограничное определение, изложенное в работе [5], при котором разрушение пролёта (в нашем случае стебля) начнётся при превышении прогиба $\frac{1}{1000}$ доли пролёта, то есть при f = H/1000. Для углов поворота сечения не больше 1° принято считать [5], что тангенс угла равен углу, выраженному в радианах. Отсюда следует, что разрушение может произойти при

$$\Theta=tg\Theta=\frac{df}{dH}=\frac{dH}{dH\cdot 1000}=0,001\,рад\,, \qquad (13)$$

где Θ – угол поворота стебля в плоскости среза.

Угол поворота стебля в сечении $BB_1$ в соответствии с рис. 4 [6]:

$$\Theta=\frac{P_{кр}\cdot\left(\frac{H}{\cos\gamma}\right)^2}{2EI_x}=\frac{32P_{кр}\cdot H^2}{\pi\cdot d^4\cdot E\cdot cos^2\gamma}. \qquad (14)$$

Откуда соответственно: для прямого и криволинейного лезвия:

$$N=\frac{60\cdot 32\cdot 1,(6)\cdot\delta\cdot s\cdot\sigma_p\cdot H^2+\Theta\cdot E\cdot\pi\cdot d^4\cdot cos\phi\cdot\cos^2\gamma\cdot K\cdot n\cdot\cos\alpha}{32K\cdot n\cdot\cos\alpha\cdot H^2}=$$
$$=\frac{3200\delta\cdot s\cdot\sigma_p\cdot H^2+\Theta\cdot E\cdot\pi\cdot d^4\cdot cos\phi\cdot\cos^2\gamma\cdot K\cdot n\cdot\cos\alpha}{32K\cdot n\cdot\cos\alpha\cdot H^2}; \qquad (15)$$

для лезвия с насечкой:

$$N=\frac{60\cdot 32\cdot 1,(6)\cdot 1,17\cdot\delta\cdot s\cdot\sigma_p\cdot H^2+\Theta\cdot E\cdot\pi\cdot d^4\cdot cos\phi\cdot\cos^2\gamma\cdot K\cdot n\cdot\cos\alpha}{32K\cdot n\cdot\cos\alpha\cdot H^2}=$$
$$=\frac{3743,98502\delta\cdot s\cdot\sigma_p\cdot H^2+\Theta\cdot E\cdot\pi\cdot d^4\cdot cos\phi\cdot\cos^2\gamma\cdot K\cdot n\cdot\cos\alpha}{32K\cdot n\cdot\cos\alpha\cdot H^2}. \qquad (16)$$

**Нормальная составляющая критической силы резания стебля с опорными реакциями в основании и контрноже (подпорное резание).** Теперь рассмотрим процесс подпорного резания. На схеме резания в соответствии с рис. 5 стебель с одной опорой, расположенный под углом к вертикали γ, можно представить как стержень, защемлённый в основании, а также опирающийся на нож-рассекатель и подвергающийся действию силы $P_{кр}$ на высоте резания H от нижнего защемления.

Найдём зависимость между критической силой $P_{кр}$ и углом поворота Θ в плоскости среза.

От заданной силы в ноже-рассекателе (в точке B) появится реакция $V_B$, а в заделке появятся реактивный изгибающий момент $M_A$ и реакция $V_A$.

Уравнения статики:

$$-P_{кр}+V_B-V_A = 0, \quad (17)$$

$$-M_A+V_B(H-a)-P_{кр}\cdot H=0. \quad (18)$$

Загружаем систему раздельно, сначала силой $V_B$, затем силой $P_{кр}$. Суммарный прогиб в точке B должен быть равен нулю ($f_B = 0$).

Прогиб в точке B от силы $V_B$:

$$f_{BV_B} = \frac{V_B \cdot \left(\frac{H-a}{\cos\gamma}\right)^3}{3EI_x}. \quad (19)$$

а) б)

Рис. 5. Схема угла поворота стебля в плоскости среза от воздействия критической силы при подпорном резании: а – стебель наклонён навстречу направлению подачи измельчителя; б – вид слева

Определим прогиб в точке B от силы $P_{кр}$. Для сечения, которое отстоит от заделки на расстоянии $x_1$ [4]:

$$y = -\frac{P_{кр} \cdot H \cdot x_1^2}{6\cos^3\gamma \cdot E \cdot I_x}\left(3 - \frac{x_1}{H}\right). \quad (20)$$

Подставим $x_1 = \frac{H-a}{\cos\gamma}$, тогда

$$f_{BP_{кр}} = -\frac{P_{кр} \cdot H(H-a)^2}{6cos^5\gamma \cdot E \cdot I_x}\left(3 - \frac{H-a}{H \cdot cos\gamma}\right). \quad (21)$$

Суммарный прогиб

$$f_B = f_{BV_B} + f_{BP_{кр}} = 0, \quad (22)$$

$$f_B = \frac{V_B\left(\frac{H-a}{\cos\gamma}\right)^3}{3EI_x} - \frac{P_{кр}\cdot H(H-a)^2}{6cos^5\gamma\cdot E\cdot I_x}\left(3-\frac{H-a}{H\cdot\cos\gamma}\right)=0, \quad (23)$$

откуда

$$V_B = \frac{P_{кр}(2H+a)}{2(H-a)}. \quad (24)$$

Далее

$$V_A = \frac{3P_{кр}\cdot a}{2(H-a)} \text{ и } M_A = \frac{P_{кр}\cdot a}{2cos\gamma}. \quad (25)$$

Начало координат помещаем на верхнем конце стебля в точке О. Для вычисления угла поворота $\Theta_0$ воспользуемся универсальным уравнением по методу начальных параметров [5–7] и граничным условием заделки А: при x = H $y^{/}(H) = \Theta_A = 0$:

$$EI_x\cdot 0 = EI_x\cdot\Theta_0 - M_A\left(\frac{H}{\cos\gamma}-\frac{H}{\cos\gamma}\right) - V_A\left(\frac{H}{\cos\gamma}-\frac{H}{\cos\gamma}\right)+\frac{V_B(H-a)^2}{2\cos^2\gamma}-\frac{P_{кр}H^2}{2\cos^2\gamma}.$$

$$EI_x\cdot\Theta_0 + \frac{V_B(H-a)^2}{2\cos^2\gamma}-\frac{P_{кр}H^2}{2\cos^2\gamma}=0.$$

после чего получим уравнение

$$EI_x\cdot\Theta_0 = \frac{P_{кр}H^2}{2\cos^2\gamma}-\frac{P_{кр}(2H+a)(H-a)^2}{4(H-a)\cos^2\gamma},$$

или, вынося за скобки $\frac{P_{кр}\cdot a}{4\cos^2\gamma}$,

$$EI_x\cdot\Theta_0 = \frac{P_{кр}\cdot a}{4\cos^2\gamma}(H+a).$$

Отсюда после деления обеих частей уравнения на жёсткость $EI_x$ окончательно находим

$$\Theta_0 = \frac{P_{кр}\cdot a}{4EI_x\cdot\cos^2\gamma}(H+a) = \frac{16P_{кр}\cdot a(H+a)}{E\cdot\pi\cdot d^4\cdot\cos^2\gamma},$$

или

$$P_{кр} = \frac{E\cdot\pi\cdot d^4\cdot\Theta_0\cdot\cos^2\gamma}{16a(H+a)}. \quad (26)$$

Нормальная составляющая этой силы имеет вид

$$N = \frac{E\cdot\pi\cdot d^4\cdot\Theta_0\cdot\cos\phi\cdot\cos^2\gamma}{16a(H+a)}. \quad (27)$$

Так как силы в выражениях (5) и (27) теоретически одинаковы, то при подпорном резании для прямого и криволинейного лезвия N можно выразить как:

$$N = \frac{60\cdot16\cdot1,(6)\cdot\delta\cdot s\cdot\sigma_p\cdot a(H+a)+\Theta\cdot E\cdot\pi\cdot d^4\cdot\cos\phi\cdot\cos^2\gamma\cdot K\cdot n\cdot\cos\alpha}{16K\cdot n\cdot\cos\alpha\cdot a(H+a)} =$$
$$= \frac{1600\delta\cdot s\cdot\sigma_p\cdot a(H+a)+\Theta\cdot E\cdot\pi\cdot d^4\cdot\cos\phi\cdot\cos^2\gamma\cdot K\cdot n\cdot\cos\alpha}{16K\cdot n\cdot\cos\alpha\cdot a(H+a)}. \quad (28)$$

Для лезвия с насечкой:

$$N = \frac{60\cdot16\cdot1,(6)\cdot1,17\cdot\delta\cdot s\cdot\sigma_p\cdot a(H+a)+\Theta\cdot E\cdot\pi\cdot d^4\cdot\cos\phi\cdot\cos^2\gamma\cdot K\cdot n\cdot\cos\alpha}{16K\cdot n\cdot\cos\alpha\cdot a(H+a)} =$$
$$= \frac{2720\delta\cdot s\cdot\sigma_p\cdot a(H+a)+\Theta\cdot E\cdot\pi\cdot d^4\cdot\cos\phi\cdot\cos^2\gamma\cdot K\cdot n\cdot\cos\alpha}{16K\cdot n\cdot\cos\alpha\cdot a(H+a)}. \quad (29)$$

**Заключение.** В статье представлены развёрнутые формулы определения нормальной составляющей критической силы резания в зависимости не только от принципа среза, но и от основных параметров конструкции измельчителя и режимов измельчения. Опытные данные (значения мощности), полученные при испытании ножей на экспериментальной установке, хорошо согласуются с результатами теоретических вычислений по формулам, в которых основной составляющей являлась нормальная составляющая критической силы, действующей в зоне резания.

**Библиографический список**

1. Резник Н.Е. Теория резания лезвием и основы расчёта режущих аппаратов / Н.Е. Резник. – М.: Машиностроение, 1975. – 311 с.

2. Любошиц М.И. Справочник по сопротивлению материалов / М.И. Любошиц, Г.М. Ицкович. – Минск: Высшая школа, 1965. – 344 с.

3. Справочник конструктора сельскохозяйственных машин. В 4 тт. / под ред. М.И. Клёцкина. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1967. – Т. 1. – 722 с.

4. Босой Е.С. Режущие аппараты уборочных машин / Е.С. Босой. – М.: Машиностроение, 1967. – 167 с.

5. Беляев Н.М. Сопротивление материалов / Н.М. Беляев. – М.: Наука, 1976. – 608 с.

6. Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя. В 3 тт. / В.И. Анурьев. – М.: Машиностроение, 1982. – Т. 1. – 729 с.

7. Писаренко Г.С. Справочник по сопротивлению материалов / Г.С. Писаренко, А.П. Яковлев, В.В. Яковлев. – Киев: Наукова думка, 1975. – 704 с.

Материал поступил в редакцию 11.05.11.

**References**

1. Reznik N.E. Teoriya rezaniya lezviem i osnovy` raschyota rezhushhix apparatov / N.E. Reznik. – M.: Mashinostroenie, 1975. – 311 s. – In Russian.

2. Lyuboshicz M.I. Spravochnik po soprotivleniyu materialov / M.I. Lyuboshicz, G.M. Iczkovich. – Minsk: Vy`sshaya shkola, 1965. – 344 s. – In Russian.

3. Spravochnik konstruktora sel`skoxozyajstvenny`x mashin. V 4 tt. / pod red. M.I. Klyoczkina. – 2-e izd., pererab. i dop. – M.: Mashinostroenie, 1967. – T. 1. – 722 s. – In Russian.

4. Bosoj E.S. Rezhushhie apparaty` uborochny`x mashin / E.S. Bosoj. – M.: Mashinostroenie, 1967. – 167 s. – In Russian.

5. Belyaev N.M. Soprotivlenie materialov / N.M. Belyaev. – M.: Nauka, 1976. – 608 s. – In Russian.

6. Anur`ev V.I. Spravochnik konstruktora-mashinostroitelya. V 3 tt. / V.I. Anur`ev. – M.: Mashinostroenie, 1982. – T. 1. – 729 s. – In Russian.

7. Pisarenko G.S. Spravochnik po soprotivleniyu materialov / G.S. Pisarenko, A.P. Yakovlev, V.V. Yakovlev. – Kiev: Naukova dumka, 1975. – 704 s. – In Russian.

## NORMAL COMPONENT OF CRITICAL CUTTING FORCE IN FIXED AND FREE SHREDDING OF THICK-STALK CROPS BY DISK SHREDDER BLADES

**A.K. FOKEYEV**
(Rubtsovsk Industrial Institute, branch of I.I. Polzunov Altay State Technical University),
**I.A. BUDASHOV**
(Rubtsovsk Design-and-Engineering Institute of Technology)

*Impact of three different blades on the normal component of the critical cutting force is considered. The formula of the critical force normal component as a result of the knurled blade operation is presented. The formula derivation of the critical force normal component in the fixed and free shredding is described.*
***Keywords:*** *normal component of the critical cutting force, fixed and free shredding, knives, active blade length.*

УДК 621.73.043.001.57

# ОЦЕНКА УРОВНЯ ОПТИМАЛЬНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НАКОПЛЕННОЙ ДЕФОРМАЦИИ В ПОКОВКАХ, ИЗГОТАВЛИВАЕМЫХ В ОТКРЫТЫХ ШТАМПАХ

**А.В. ВОВЧЕНКО**
(Донской государственный технический университет)

*Рассматривается методика обобщённой оценки уровня оптимальности распределения деформированного состояния в поковках. Методика основана на оценке результатов оптимизации процессов штамповки, приведенной к единому критерию. Определены параметры функций предельных границ численного и физического моделирования процессов штамповки, классифицирующие проектные решения на аналогичные оптимальным, рациональным и нерациональным, в зависимости от показателя геометрической сложности формы поковок.*

***Ключевые слова:*** *объёмная штамповка, обратные задачи формоизменения, оценка неравномерности распределения накопленной деформации, оптимизация, уровни оценки оптимальности.*

**Введение.** Современный уровень организации кузнечно-штамповочного производства поковок ответственного назначения определяется требованиями, предъявляемыми не только к сокращению сроков разработки технологических процессов, но и к определению достоверно эффективных технологических схем штамповки, заранее ориентированных на формирование заданных эксплуатационных свойств изделий.

Последнее направление, определяемое геометрической сложностью штампуемых поковок ответственного назначения, чаще всего обеспечивается применением многопереходных схем штамповки с достаточно сложными промежуточными формами. Одним из примеров такого технологического решения является схема применения заготовительных и черновых переходов штамповки, разработанная по методике достаточно давней зарубежной работы [1], ориентированной на штамповку поковок Н-образного поперечного сечения (рис.1,*а-в*). В ней (рис.1,*г*), как показы-

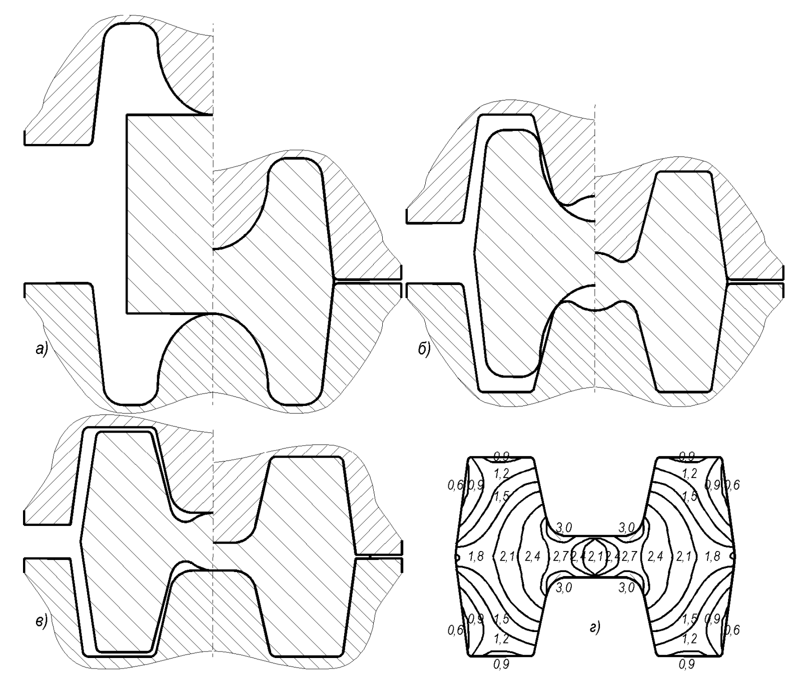



Рис. 1. Схема штамповки поковки спроектированная по рекомендациям работы [1] в заготовительном (а), черновом (б) и чистовом (в) ручьях, и распределение накопленной деформации в сечении поковки (*г*)

вают результаты выполненного численного моделирования процесса штамповки методом конечных элементов (МКЭ) [2], достигается возможность существенного снижения неравномерности деформированного состояния в плоскости рассматриваемого сечения поковки в сравнении с традиционными производственными вариантами её штамповки в один и два технологических перехода (рис. 2).

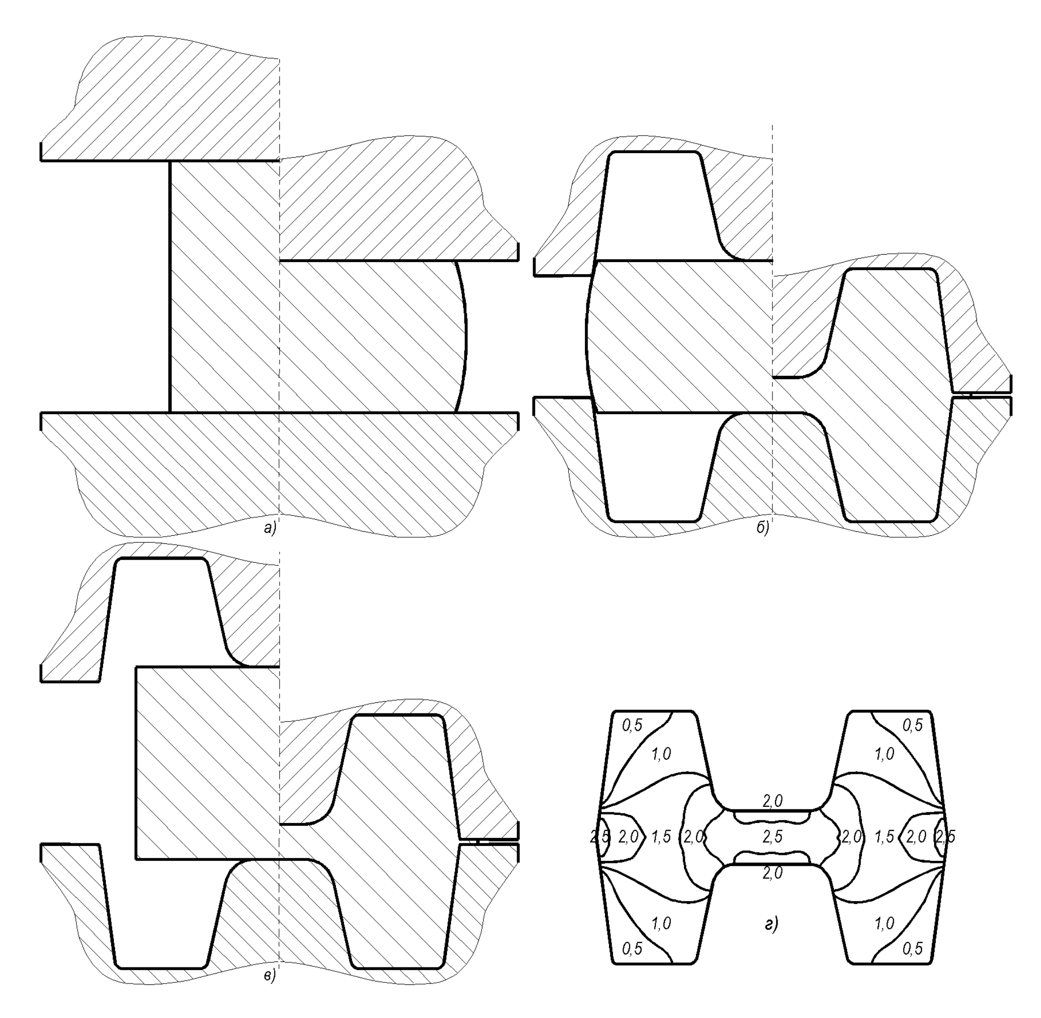



Рис. 2. Схемы штамповки поковки за два перехода (*а,б*) с предварительной осадкой заготовки (*а*) или без неё – за один переход (*в*) и распределение накопленной деформации в сечении поковки (*г*) для варианта (*в*)

Общим недостатком рекомендаций, аналогичных рекомендациям работы [1], является то, что они при достаточно высоком уровне получаемых результатов определяются низкой универсальностью предлагаемых методик, ориентированных на конкретные формы поковок. В связи с этим в настоящей работе представлены результаты подхода, отличающегося большей универсальностью и основанного на процедуре многошаговой оптимизации процессов объёмной штамповки, реализованной посредством метода обратной прогонки динамического программирования [3]. Оптимизационная методика базировалась на результатах численного моделирования, реализованного методом граничных элементов (МГЭ) [4] посредством постадийного решения обратных задач формоизменения [5]. Эти данные отражены на рис. 3.

При этом, как известно из теории динамического программирования и видно из схемы многошаговой оптимизации (см. рис.3,*в*), подобный подход отличается повышенной сложностью реализации, связанной с большим объёмом расчётных действий. С другой стороны, не следует

исключать и возможность получения результата, близкого к оптимальному по менее сложной технологической схеме штамповки. Поэтому для эффективной организации исследований процессов объёмной штамповки, по крайней мере на начальных этапах проектирования, необходима система не сравнительной, а обобщённой оценки уровня соответствия разработанного технологического решения преследуемой проектной цели.

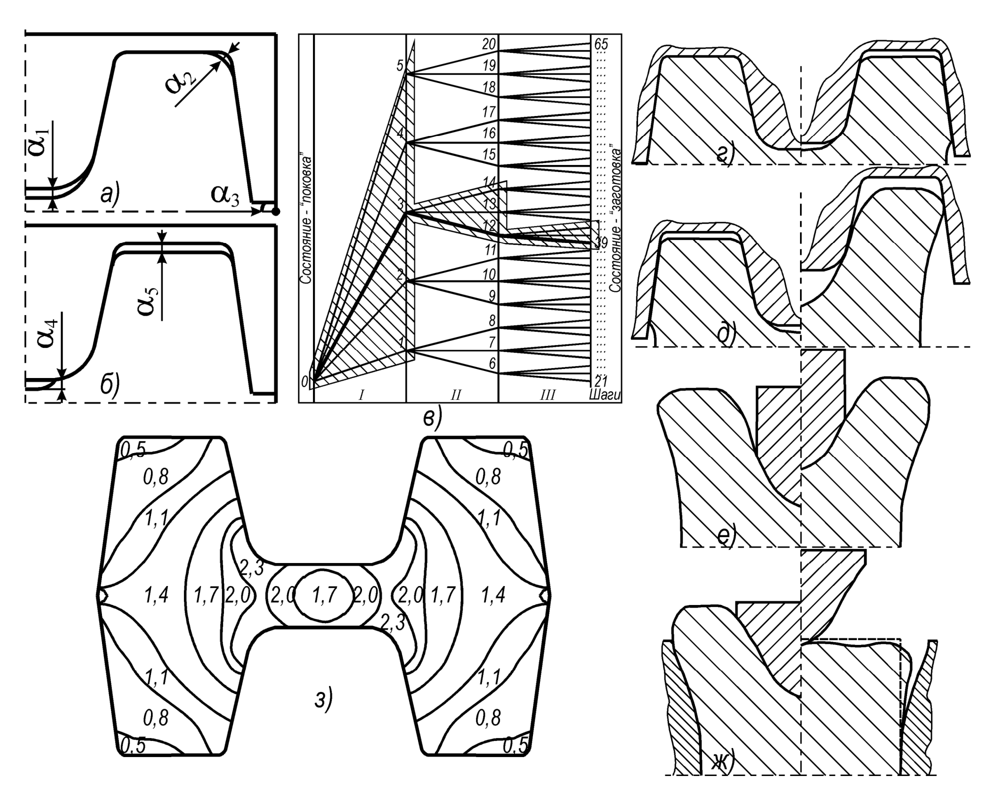



Рис. 3. Результаты применения процедуры многошаговой оптимизации, основанной на методе обратной прогонки динамического программирования, реализованном МГЭ: *а, б* – управления первого шага; *в* – схема многошаговой оптимизации; *г-ж* – оптимальная схема формоизменения в чистовом ручье на последней (*г*) и предпоследней (*д*) стадиях, в черновом (*е*) и заготовительном (*ж*) ручьях; *з* – распределение деформации, полученное МКЭ

В связи с этим в дополнение к реализованному оптимизационному подходу предложена методика оценки уровня оптимальности распределения деформированного состояния в поковках, позволяющая по результатам предварительного численного (МКЭ, МГЭ) или физического моделирования определять необходимость введения более сложных схем штамповки поковок.

**Теоретический анализ.** Учитывая результаты работы [6], в качестве целевой функции, определяющей неравномерность распределения накопленной деформации, использовали параметр [5, 7, 8]

$$J = \frac{\sum_{i=1}^{n} \left| \varepsilon_{cp} - \varepsilon_i \right| \cdot S_i}{\sum_{i=1}^{n} S_i}, \qquad (1)$$

где $\varepsilon_i$ и $S_i$ – степень деформации на произвольном ($i$-м) участке сечения и площадь этого участка; $\varepsilon_{ср}$ – средневзвешенное по площади значение степени деформации по сечению поковки.

Реализация расчётов ориентирована на управление схемой заполнения чистового ручья посредством определения предшествующих заготовительных форм, при которой выражение (1) принимает минимальное значение:

$$J \to \min .\qquad(2)$$

Отличительные особенности применяемой методики многошагового оптимизационного определения переходных форм штамповки состоят в достаточно широком диапазоне вводимых управлений [5, 8], применении алгоритма снижения размерности оптимизационной задачи – «киевский веник» Михалевича – Шора [9] и реализации решений обратных постадийных задач формоизменения по алгоритму реверсивного нагружения [10, 11] прямым методом граничных элементов [4].

**Методика расчётов.** Представление об управлениях на первом расчётном шаге, начатом от готовой поковки, отражающем схему заполнения чистового ручья металлом заготовки, можно составить по рис.3 (*а,б*) и табл.1.

Таблица 1

Варианты комбинаций управлений первого шага оптимизации

| Варианты | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|---|---|---|---|---|
| Комбинации вводимых управлений | $\alpha_1 \neq 0$<br>$\alpha_2 = 0$<br>$\alpha_3 = 0$<br>$\alpha_4 = 0$<br>$\alpha_5 \neq 0$ | $\alpha_1 = 0$<br>$\alpha_2 = 0$<br>$\alpha_3 \neq 0$<br>$\alpha_4 \neq 0$<br>$\alpha_5 = 0$ | $\alpha_1 \neq 0$<br>$\alpha_2 = 0$<br>$\alpha_3 \neq 0$<br>$\alpha_4 = 0$<br>$\alpha_5 \neq 0$ | $\alpha_1 = 0$<br>$\alpha_2 \neq 0$<br>$\alpha_3 \neq 0$<br>$\alpha_4 = 0$<br>$\alpha_5 = 0$ | $\alpha_1 \neq 0$<br>$\alpha_2 \neq 0$<br>$\alpha_3 = 0$<br>$\alpha_4 = 0$<br>$\alpha_5 = 0$ |
| $J_{расч.}$ | 0,1892 | 0,2096 | 0,1636 | 0,2198 | 0,2045 |

В целях увеличения точности на каждом расчётном шаге результаты расчётов обратных задач формоизменения контролировали решением соответствующих прямых задач. Эти расчёты выполнялись МКЭ с использованием программы QForm [2].

**Методика оценки уровня оптимальности распределения деформации.** Разрабатываемое направление исследований определяет с единых позиций методику и систему первичного оценочного анализа оптимальности технологии штамповки поковок как по данным численного математического моделирования, так и по данным экспериментальных исследований, позволяя, например, при отсутствии данных о предшествующих вариантах изготовления конкретной поковки определять уровень предложенного технологического решения.

В качестве обобщенного геометрического признака формы поковки используется количественный критерий её сложности, рекомендуемый, например, работой [12, с. 158]:

$$S_T = \Phi_П C_П ,\qquad(3)$$

где $\Phi_П = (P_П^2 / F_П)/(P_Ц^2 / F_Ц)$ – степень сложности сечения поковки ($П$) относительно сечения описанной вокруг неё фигуры (цилиндра или параллелепипеда) ($Ц$); $C_П = 2R_{ЦП} / R_П$ – степень сложности поковки по конфигурации её сечения; $P$ – периметры сечений; $F$ – площади сечений; $R_П$ – наружный радиус поковки; $R_{ЦП}$ – абсцисса центра тяжести половины осевого сечения поковки.

Учитывая то, что в работах [1, 5–8, 10, 11] данных об оптимизации неравномерности деформации в поковках, полученных посредством численного и экспериментального моделирования в рамках методики обратной прогонки динамического программирования, недостаточно, результаты обобщённого анализа были дополнены результатами теоретического (главным образом в рамках метода прямой прогонки динамического программирования) и экспериментального оптимизационного исследований, выполненных другими авторами. Некоторые из анализируемых данных представлены на рис.4 и в табл.2.

В частности, в табл.2 представлен выборочный анализ сравнения результатов уже выполненных исследований в аналогичном направлении с авторскими данными, которые приведены к единым значениям параметра $J$ (1) и критерия сложности поковки $S_T$ (3). В соответствии с принятыми в анализируемых работах способами разработки технологических решений и представленными базовыми их вариантами результаты приводятся в классификации по их виду – на расчёт-

ные и экспериментальные, а по способу получения – на аналогичные оптимизационным, рациональным и нерациональным решениям.

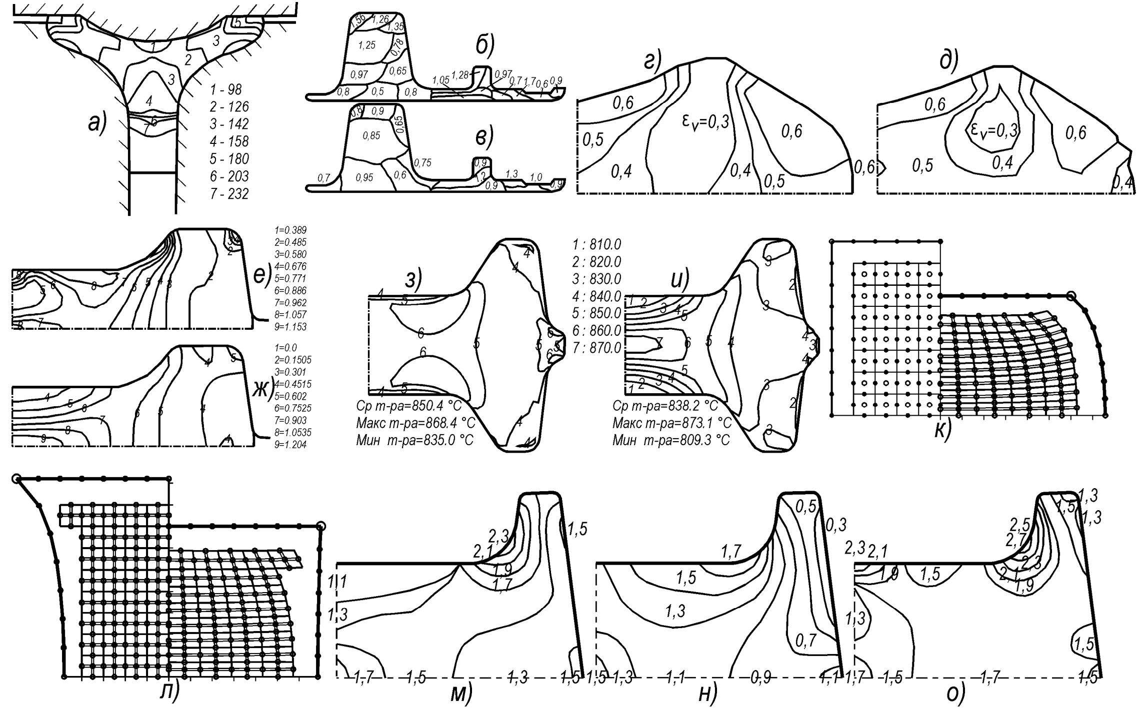



Рис. 4. Некоторые результаты, определяющие распределение полей накопленной деформации в поковках после штамповки: *а* – по размеру зёрен; *б-ж,к-о* – по накопленной деформации; *з, и* – по изменению температуры в процессе формоизменения (оптимальные: *а, в, д, е, з, о*)

Таблица 2

Анализ результатов некоторых работ по повышению равномерности деформированного состояния внутри поковок, приведенный к значению параметра *J*

| Ссылка | Источник | Сложность поковки $S_T$ | Значение показателя неравномерности *J* | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | при расчёте | | | в эксперименте | | |
| | | | Опт. | Рац. | Нерац. | Опт. | Рац. | Нерац. |
| Рис.4,*а* | [13] | 1,4114 | 0,316 | – | – | – | – | – |
| Рис.4,*б-в* | [6] | 2,1805 | – | – | – | 0,111 | 0,256 | – |
| Рис.4,*г-д* | [14] | 0,8995 | – | – | – | 0,068 | 0,105 | – |
| Рис.4,*е-ж* | [15] | 1,4645 | 0,200 | – | 0,192 | – | – | – |
| Рис.4,*з-и* | [16] | 1,8266 | 0,12 | 0,17 | – | – | – | – |
| Рис.4,*к* | [11] | 0,8303 | – | – | 0,108/ 0,081 (0,101) | – | – | 0,279 |
| Рис.4,*л* | [17] | 1 | – | –/0,069 (0,071) | – | – | 0,172 | – |
| Рис.3 | [5], [8] | 2,6258 | 0,401/ (0,409) | 0,489/0,477 | 0,52/0,502 | 0,511 | – | 3,041 |
| Рис.4,*м-о* | [7] | 1,6589 | 0,162/ (0,193) | 0,246/0,211 | 0,165/0,279 | 0,245 | 0,255 | 0,368 |

Классификация по виду результатов вводится вследствие уже известного рассогласования расчётных и экспериментальных данных между собой [11], которое возможно как в результате принимаемой идеализации расчётной модели, аппроксимационного упрощения получаемых геометрических решений для экспериментального выполнения, так и в случае применения обратного моделирования в виду известной некорректности обратных задач как класса [18]. При этом в

табл.2 значения *J*, полученные по данным численного моделирования для отдельных примеров, приводятся в нескольких вариантах, например, полученные разными методами расчёта: МКЭ/МГЭ (обратным расчётом по МГЭ).

Классификация по способу получения результатов достаточно условна, так как уже было показано (см. табл. 2), что отдельные результаты (см. рис.4,*е-ж*), определённые в работах как оптимальные [15], при критериальной оценке по параметру *J* к таковой группе не относятся, и наоборот – базовые варианты, исходно принимаемые как нерациональные, попадают, по крайней мере, в зону рациональных значений. Первый случай отражает то, что у используемого критерия *J* имеется зона незначительной нечувствительности, которая относится к вариантам распределения деформаций по полям с близкой площадью, но различной конфигурацией. Второй случай, по всей видимости, относится к примерам относительного сравнения, когда базовый вариант выбран с заранее завышенными требованиями к значению *J*.

Таким образом, применяемые далее в настоящей работе в сравнении между собой термины «оптимальный», «рациональный» и «нерациональный» характеризуют не строгость постановки решаемой технологической задачи формоизменения при штамповке, а позволяют в общем виде оценить уровень проектного решения на стадии разработки на этапе моделирования. Так, в частности, получены уравнения моделей, по которым можно определить границы указанных диапазонов показателя *J* по результатам численного (МКЭ, МГЭ) моделирования формоизменения:

$$J_{\max}^{opt} \le 0,0758 S_T^2 - 0,0982 S_T + 0,1593\,, \qquad (4,а)$$

$$J_{\max}^{rac} \le 0,0545 S_T^2 + 0,0071 S_T + 0,1112\,, \qquad (4,б)$$

при 2,75>$S_T$>0,75.

С аналогичных позиций анализировались результаты и экспериментальных исследований, что обусловлено их различием с данными численного моделирования, выполненного не только МГЭ, но и МКЭ. Здесь, как и ранее, для результатов, полученных на основе оптимизационного подхода, использовалась верхняя оценка данных по соответствующей границе диапазона. Как и ранее, в экспериментальных данных имеются исключения, а оценочные модели имеют вид:

$$J_{\max}^{opt} \le 0,0532 S_T^2 + 0,0573 S_T + 0,0098\,, \qquad (5,а)$$

$$J_{\max}^{rac} \le 0,22 S_T^2 - 0,3812 S_T + 0,3901\,, \qquad (5,б)$$

где 2,75>$S_T$>0,75.

Предлагаемые зависимости (4) и (5) делят расчётное пространство на три области, нижняя из которых $J \le J_{\max}^{opt}$ соответственно относится к схемам, аналогичным оптимальным, средняя $J_{\max}^{opt} < J \le J_{\max}^{rac}$ – аналогичная рациональным, а остальные значения $J > J_{\max}^{rac}$ могут быть отнесены к нерациональным вариантам схем штамповки. При этом полевое представление распределения накопленной деформации в сечении, в соответствии с применением условия (4), накладывает требования на дискретизацию параметра $\varepsilon_i$ до уровня $d\varepsilon_i \le 0,3$.

При этом следует также повторно отметить и то, что не все примеры, представленные в табл.2, могут быть однозначно оценены параметром *J*. Так, на рис.4,*е-ж* представлен редкий случай, когда размеры полей в сечении поковки главным образом отличаются не площадью, а их формой. В этом случае, в отличие от первоисточника [15], автором данной статьи получены результаты противоречащие, несмотря на несущественное различие, выводам об оптимальности разработанного процесса.

**Заключение.** Предложен вариант приближённой диапазонной оценки поковок по показателю неравномерности распределения деформированного состояния в сечении *J* в зависимости от их сложности $S_T$ (2,75>$S_T$>0,75). Приведены результаты анализа с позиций не только численного моделирования (4), но и экспериментальных исследований (5), при этом анализируются не только данные, полученные при участии автора, но и сторонние данные, приведенные автором к единому показателю неравномерности *J*. Классификация процессов представлена в трёхдиапазонном виде и подразделяет соответственно все технологические решения на характерные для реализации оптимизационных процедур в целевом направлении, рациональные и нерациональные.

**Библиографический список**

1. Неймайер Н.Ф. Холодная и горячая штамповка. Т. 2 / Н.Ф. Неймайер. – М.: ОНТИ, 1935. – 744 с.

2. Биба Н.В. Эффективность применения моделирования для разработки технологии штамповки / Н.В. Биба, А.И. Лишний, С.А. Стебунов // Кузнечно-штамповочное производство. – 2001. – № 5. – С. 39–44.

3. Таха Х. Введение в исследование операций: в 2-х книгах. Кн. 1 / Х. Таха; пер. с англ. – М.: Мир, 1985. – 479 с.

4. Бреббия К. Методы граничных элементов / К. Бреббия, Ж. Теллес, Л. Вроубел ; пер. с англ. – М.: Мир, 1987. – 524 с.

5. Резников Ю.Н. Об оптимизации процессов деформирования металлов / Ю.Н. Резников, А.В. Вовченко, В.Е. Жиленков // Металлы. – 2006. – № 1. – С. 39–43.

6. Резников Ю.Н. Оптимизация заготовительных ручьёв для поковок, изготовляемых объёмной штамповкой / Ю.Н. Резников, Г.Г. Калинин // Кузнечно-штамповочное производство. – 1998. – № 10. – С. 8–10.

7. Резников Ю.Н. Уменьшение неравномерности деформации по сечению поковки при объёмной штамповке / Ю.Н. Резников, А.В. Вовченко, В.Е. Жиленков // Заготовительные производства в машиностроении. – 2004. – № 9. – С. 49–50.

8. Вовченко А.В. Оптимизация процессов объёмной штамповки, реализуемая направленным определением заготовительных форм полуфабрикатов на технологических переходах / А.В. Вовченко, Ю.Н. Резников // Заготовительные производства в машиностроении. – 2009. – № 7. – С. 28–33.

9. Моисеев Н.Н. Численные методы в теории оптимальных систем / Н.Н. Моисеев. – М.: Наука, 1971. – 424 с.

10. Вовченко А.В. Особенности обратного гранично-элементного моделирования процессов объёмной штамповки / А.В. Вовченко // Механика деформируемого твёрдого тела и обработка металлов давлением: сб. науч. тр. – Тула : ТулГУ. – 2002. – Ч. 1. – С. 70–76.

11. Вовченко А.В. Критериальная концепция гранично-элементной реализации алгоритма реверсивного нагружения в решении обратных задач формоизменения для процессов объёмной штамповки / А.В. Вовченко // Прогрессивные технологии в современном машиностроении: сб. стат. VI междунар. науч.-техн. конф., июнь 2010 г. – Пенза: ПДЗ, 2010. – С. 97–100.

12. Алиев Ч.А. Система автоматизированного проектирования технологии горячей объёмной штамповки / Ч.А. Алиев, Г.П. Тетерин. – М.: Машиностроение, 1987. – 224 с.

13. Li Jun. Prediction of Grain Size Evolution for Hot-Forget Workpieces / Li Jun, Li Runfang // Cailiao Kexue yu gongyi: Mater.Sci.&Technol. – 1999. – Vol. 7. – № 2. – P. 73–76.

14. Becker M. A new approach to optimization of metal forming processes / M. Becker, R. Kopp // Numiform 1989. Tompson et al. (eds). – Balkema. Rotterdam. – P. 107–113.

15. Zhao Xinhai. Optimal preform Die Design through Controlling Deformation Uniformity in Metal Forging / Zhao Xinhai, Zhao Guogun, Wang Guangchun, Wang Tonghai // J. Mater. Sci. and Technol. – 2002. – 18. – № 5. – P. 465–467.

16. Chung J.S. Process Optimal Design in Forging by Genetic Algorithm / J.S. Chung, S.M. Hwang // Trans. ASME. J. Manuf. Sci. and Eng. – 2002. – 124. – № 2. – P. 397–408.

17. Вовченко А.В. Перспективы применения численных методов в проектировании процессов объёмной штамповки / А.В. Вовченко // Состояние и перспективы развития сельскохозяйственного машиностроения: мат-лы междунар. науч.-практ. конф., 4–5 марта 2010 г. – Ростов н/Д, 2010. – 430 с. – С. 195–199.

18. Вовченко А.В. О возможности улучшения решений обратных задач расчёта формоизменения в процессах ОМД / А.В. Вовченко, Ю.Н. Резников, А.Н. Соловьёв // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Технические науки. – 2009. – № 3. – С. 60–64.

Материал поступил в редакцию 31.05.11.

**References**

1. Nejmajer N.F. Xolodnaya i goryachaya shtampovka. T. 2 / N.F. Nejmajer. – M.: ONTI, 1935. – 744 s. – In Russian.

2. Biba N.V. E`ffektivnost` primeneniya modelirovaniya dlya razrabotki texnologii shtampovki / N.V. Biba, A.I. Lishnij, S.A. Stebunov // Kuznechno-shtampovochnoe proizvodstvo. – 2001. – # 5. – S. 39–44. – In Russian.

3. Taxa X. Vvedenie v issledovanie operacij: v 2-x knigax. Kn. 1 / X. Taxa; per. s angl. – M.: Mir, 1985. – 479 s. – In Russian.

4. Brebbiya K. Metody` granichny`x e`lementov / K. Brebbiya, Zh. Telles, L. Vroubel ; per. s angl. – M.: Mir, 1987. – 524 s. – In Russian.

5. Reznikov Yu.N. Ob optimizacii processov deformirovaniya metallov / Yu.N. Reznikov, A.V. Vovchenko, V.E. Zhilenkov // Metally`. – 2006. – # 1. – S. 39–43. – In Russian.

6. Reznikov Yu.N. Optimizaciya zagotovitel`ny`x ruch`yov dlya pokovok, izgotovlyaemy`x ob``yomnoj shtampovkoj / Yu.N. Reznikov, G.G. Kalinin // Kuznechno-shtampovochnoe proizvodstvo. – 1998. – # 10. – S. 8–10. – In Russian.

7. Reznikov Yu.N. Umen`shenie neravnomernosti deformacii po secheniyu pokovki pri ob``yomnoj shtampovke / Yu.N. Reznikov, A.V. Vovchenko, V.E. Zhilenkov // Zagotovitel`ny`e proizvodstva v mashinostroenii. – 2004. – # 9. – S. 49–50. – In Russian.

8. Vovchenko A.V. Optimizaciya processov ob``yomnoj shtampovki, realizuemaya napravlenny`m opredeleniem zagotovitel`ny`x form polufabrikatov na texnologicheskix perexodax / A.V. Vovchenko, Yu.N. Reznikov // Zagotovitel`ny`e proizvodstva v mashinostroenii. – 2009. – # 7. – S. 28–33. – In Russian.

9. Moiseev N.N. Chislenny`e metody` v teorii optimal`ny`x sistem / N.N. Moiseev. – M.: Nauka, 1971. – 424 s. – In Russian.

10. Vovchenko A.V. Osobennosti obratnogo granichno-e`lementnogo modelirovaniya processov ob``yomnoj shtampovki / A.V. Vovchenko // Mexanika deformiruemogo tvyordogo tela i obrabotka metallov davleniem: sb. nauch. tr. – Tula : TulGU. – 2002. – Ch. 1. – S. 70–76. – In Russian.

11. Vovchenko A.V. Kriterial`naya koncepciya granichno-e`lementnoj realizacii algoritma reversivnogo nagruzheniya v reshenii obratny`x zadach formoizmeneniya dlya processov ob``yomnoj shtampovki / A.V. Vovchenko // Progressivny`e texnologii v sovremennom mashinostroenii: sb. stat. VI mezhdunar. nauch.-texn. konf., iyun` 2010 g. – Penza: PDZ, 2010. – S. 97–100. – In Russian.

12. Aliev Ch.A. Sistema avtomatizirovannogo proektirovaniya texnologii goryachej ob``yomnoj shtampovki / Ch.A. Aliev, G.P. Teterin. – M.: Mashinostroenie, 1987. – 224 s. – In Russian.

13. Li Jun. Prediction of Grain Size Evolution for Hot-Forget Workpieces / Li Jun, Li Runfang // Cailiao Kexue yu gongyi: Mater.Sci.&Technol. – 1999. – Vol. 7. – # 2. – P. 73–76.

14. Becker M. A new approach to optimization of metal forming processes / M. Becker, R. Kopp // Numiform 1989. Tompson et al. (eds). – Balkema. Rotterdam. – P. 107–113.

15. Zhao Xinhai. Optimal preform Die Design through Controlling Deformation Uniformity in Metal Forging / Zhao Xinhai, Zhao Guogun, Wang Guangchun, Wang Tonghai // J. Mater. Sci. and Technol. – 2002. – 18. – # 5. – P. 465–467.

16. Chung J.S. Process Optimal Design in Forging by Genetic Algorithm / J.S. Chung, S.M. Hwang // Trans. ASME. J. Manuf. Sci. and Eng. – 2002. – 124. – # 2. – P. 397–408.

17. Vovchenko A.V. Perspektivy` primeneniya chislenny`x metodov v proektirovanii processov ob``yomnoj shtampovki / A.V. Vovchenko // Sostoyanie i perspektivy` razvitiya sel`skoxozyajstvennogo mashinostroeniya: mat-ly` mezhdunar. nauch.-prakt. konf., 4–5 marta 2010 g. – Rostov n/D, 2010. – 430 s. – S. 195–199. – In Russian.

18. Vovchenko A.V. O vozmozhnosti uluchsheniya reshenij obratny`x zadach raschyota formoizmeneniya v processax OMD / A.V. Vovchenko, Yu.N. Reznikov, A.N. Solov`yov // Izvestiya vuzov. Severo-Kavkazskij region. Texnicheskie nauki. – 2009. – # 3. – S. 60–64. – In Russian.

# ASSESSMENT OF OPTIMALITY LEVEL OF ACCUMULATED STRAIN DISTRIBUTION IN FORGINGS MADE IN OPEN PRESS TOOLS

**A.V. VOVCHENKO**
(Don State Technical University)

*The generalized estimation technique of the optimality level of the strain distribution in the forgings is offered. The technique is based on the estimated results of the pressing optimization reduced to the consistent criterion. Function parameters of the boundary frames of the numerical and physical pressing simulation are defined. They classify the design solutions by the analogous to the optimal, rational and nonrational ones depending on the factor of the geometrical complication of the final shape.*
***Keywords:*** *die forging, inverse problems of forming, estimation of irregularity of accumulated strain distribution, optimization, optimality levels estimation.*

УДК 531:62-251

# СИСТЕМНЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ МЕХАНИКИ И БАЛАНСИРОВКИ РОТОРОВ

**О.О. ПОЛУШКИН**
(Донской государственный технический университет)

*Представлены новые результаты фундаментальных исследований динамики роторов, позволившие реализовать системный подход к их балансировке на всех стадиях создания и функционирования машин любого назначения. Показаны примеры внедрения полученных результатов.*
***Ключевые слова:*** *ротор, балансировка, системный подход.*

**Введение.** Современное состояние теории и практики балансировки ротационных агрегатов (роторов) машин характеризуется отсутствием обобщенного системного подхода к решению вопросов балансировки при проектировании, производстве, эксплуатации и ремонте машин. По этой причине (как установил проведенный анализ литературы по этим вопросам) на многие из них нет исчерпывающих ответов; ответы на другие опираются на использование примитивных моделей, на эмпирические данные и выработанные по ним нормативы, которые имеют значительные различия не только на межотраслевом, но и на внутриотраслевом уровнях для идентичных роторов. Так:

- теоретические основы механики и балансировки жёстких и нежёстких роторов, хотя и строятся на использовании одних и тех же понятий (дисбаланс, плоскость приведения, корректировка и др. [1]), не имеют общих предпосылок для совместного их рассмотрения. Этим и обусловлено их отдельное и несвязное развитие. Вместе с тем, используя в качестве такой предпосылки рабочую гипотезу о конечной изгибной податливости оси любого ротора, можно совместить рассмотрение вопросов механики и балансировки жёстких и нежёстких роторов, построив общий теоретический фундамент для моделирования их динамики;
- отсутствуют разработки по объективному критериальному разграничению классов жёстких и нежёстких роторов. По этой причине до настоящего времени нет строгого и корректного определения понятия «жёсткий ротор». Не только в различных источниках, но даже в пределах одного (например, [2]) приводятся различные определения этого понятия, вплоть до того, что тот же справочник отдает решение вопроса о принадлежности ротора к классу жестких на субъективное решение конструктора без обоснования этого решения корректными расчетами;
- большинство исследований по механике и балансировке роторов выполнено применительно к жёстким их конструкциям в тривиальном их представлении. Поэтому во многих отраслях машиностроения априори принимают роторы жёсткими для использования уже разработанных и достаточно апробированных методик решения всех вопросов их балансировки. Такой подход недопустим, так как приводит к крайне негативному результату: при эксплуатации нежёсткого ротора, сбалансированного как жёсткий на низкой частоте вращения, могут возникнуть его чрезмерные разбалансировки и вибрации, приводящие к аварийным ситуациям;
- не созданы достаточно адекватные динамические модели балансируемого ротора на балансировочном станке. Это служит тормозом развития и совершенствования балансировочного оборудования как в вопросах повышения его точности, снижения трудоемкости (числа пусков) при балансировке жёстких роторов, так и в вопросах адаптации существующих и при разработке новых (доныне не существующих) технологий и оборудования для балансировки нежёстких роторов;
- отсутствуют достаточно адекватные динамические модели неуравновешенного ротора на машине. Без этого невозможно создание эффективного балансировочного портативного комплекта, позволяющего балансировать роторы в эксплуатации без разборки машины. Кроме того, это

не позволяет строить надёжные поисковые вибродиагностические системы оценки качества балансировки роторов машины при её испытаниях на выходе производства;

- до конца не разработаны как теоретические обоснования, так и рабочие методики балансировки многоопорных жёстких роторов; без этих методик невозможно создание эффективного оборудования для практической реализации балансировки таких роторов; невозможна балансировка таких роторов на месте. В настоящее время балансировка многоопорных роторов (например, турбоагрегаты на электростанциях, многоопорные высокооборотные карданные передачи и пр.) осуществляется отдельной балансировкой в собранном изделии и с помощью обходного груза [2]. Оба метода требуют значительных трудозатрат реализации;

- балансировка нежёстких роторов до последнего времени не имела общей теоретической основы, раскрывающей закономерности динамики таких роторов. Как результат, каждая отрасль машиностроения, сталкиваясь с необходимостью балансировки таких роторов, разрабатывала свои отраслевые методики, которые существенно разнились для идентичных конструкций роторов, не обеспечивая, зачастую, требуемого качества балансировки;

- существующее балансировочное оборудование использует аналоговую аппаратурную фильтрацию сложных колебательных процессов для выделения в них гармоник, генерируемых неуравновешенностью ротора [2]. Замеры характеристик этих гармоник осуществляются при этом со значительными ошибками.

Таким образом, решение вопросов балансировки становится проблемой, выход из которой может быть найден лишь системным подходом к совместному рассмотрению полного их комплекса на всех стадиях создания и функционирования машин. Этот подход может быть реализован только на основе глубокой научной проработки фундаментальных вопросов механики ротационного агрегата машины вне зависимости от её отраслевой принадлежности.

Ниже представлены результаты выполненных на кафедре «Теория механизмов и машин» ДГТУ фундаментальных исследований и прикладных разработок, позволивших реализовать системный подход к решению задач балансировки и получить качественно новые технологии и технические средства балансировки ротационных агрегатов машин самого различного назначения.

**Новый теоретический подход к идентификации дисбалансов.** Теоретическое рассмотрение динамики ротационного агрегата в виде нежёсткого ротора, имеющего исходное пространственное искривление оси по $n = 1, 2, 3, ....$ собственным формам, позволило установить и аналитически описать новые закономерности упругой деформации его оси и связанных с нею дисбалансов, возникающих при вращении ротора с различной скоростью. Созданные на этой основе принципиально новые механико-математические модели неуравновешенности, имеющие (в сравнении с существующими) значительно более высокий уровень адекватности, могут эффективно использоваться при балансировке ротора по любой *n*-й собственной форме. Разработанная методика идентификации параметров таких моделей, характеризующих их собственные свойства, позволяет достоверно и надёжно решать эту задачу как при проектных расчётах, так и при балансировке конкретного изделия. Впервые разработка и использование такой модели для ротора, балансируемого по первой собственной форме, была представлена в работе [3].

Предложенная (теоретически обоснованная и практически апробированная) математическая фильтрация полигармонических колебательных процессов со случайными составляющими по алгоритму рекуррентного метода наименьших квадратов [4], в отличие от существующих методов аналоговой фильтрации таких процессов, позволяет надёжно и точно выделять требуемую гармонику с дисперсией до 5% от суммарной дисперсии колебательного процесса. Это обеспечивает качественно новый уровень идентификации характеристик (амплитуды и фазы) колебаний опор ротора при его балансировке – единственный источник информации о динамической неуравновешенности балансируемого ротора.

Принципиально новый подход к идентификации колебаний опор ротора, генерируемых на частоте вращения его неуравновешенностью при наличии сторонних источников колебаний той

же частоты, не связанных с неуравновешенностью ротора, и разработанный обобщенный алгоритм решения этой задачи позволяют с недосягаемыми до настоящего времени уровнями достоверности, надёжности и точности определять характеристики неуравновешенности ротора при его балансировке на месте.

Введение в теорию и практику балансировки роторов понятия векторного коэффициента $\overline{k}_{ij}$ влияния дисбаланса в *j*-й плоскости приведения (коррекции) на характеристики колебаний *i*-й опоры ротора (на станке или на месте) [5] позволило построить обобщённую механико-математическую модель динамики *n*-опорного ротора с *n* плоскостями коррекции, адекватность которой многократно превышает адекватность существующих моделей. Разработанный метод идентификации параметров такой модели гарантирует надёжность и точность решения этой задачи при реализации балансировки на станке или на месте. Предложенная теория открывает перспективы создания балансировочного оборудования нового поколения.

**Области применения нового теоретического подхода.** Раскрытие отмеченных выше новых закономерностей механики нежёсткого ротора позволило поставить на общую теоретическую основу решение всех задач проектирования уравновешенных конструкций ротационного агрегата любых машин:

- обеспечение инерционной симметрии ротационного агрегата;
- обоснование необходимости его балансировки;
- обоснование метода балансировки агрегата и (или) его сборочных единиц;
- обоснование класса ротора, методики и конструктивных нормативов его балансировки;
- обоснование конструктивных нормативов балансировки ротора, его сборочных единиц;
- обоснование числа и местоположения плоскостей коррекции;
- отстройка критических частот.

Разработка формализованных для использования ЭВМ алгоритмов решения этих задач служит основой создания не существующей ныне САПР по проектированию уравновешенных ротационных агрегатов машин любого назначения. Разработанный алгоритм функционирования этой САПР представлен на рис. 1, где блоками предопределенных операций показаны задачи балансировки проектируемого ротационного агрегата машины, решение которых осуществляется уже известными и хорошо апробированными методами.

Использование отмеченных выше новых механико-математических моделей неуравновешенности балансируемого ротора и его динамики позволило на этой теоретической основе ставить и решать такие новые прикладные задачи технологической подготовки работ по балансировке, как:

- разработка новой технологии балансировки ротора с конечными изменениями геометрии;
- разработка рациональной технологии балансировки роторов с шарнирными рабочими элементами (с малыми изменениями геометрии) и теоретическое обоснование минимальной скорости $\omega_\delta$ их балансировки;
- априорное прогнозирование практически предельных значений корректирующих масс нежёсткого ротора;
- дискретизация масс корректирующих элементов;
- формализация распределения корректирующих элементов по точкам их возможного размещения.

Решение всех этих задач служит основой создания САПР ТПП по балансировке, гарантированно обеспечивающей требуемую уравновешенность ротора в эксплуатации, ликвидацию брака изделий по их небалансируемости и значительно снижающей затраты балансировки.

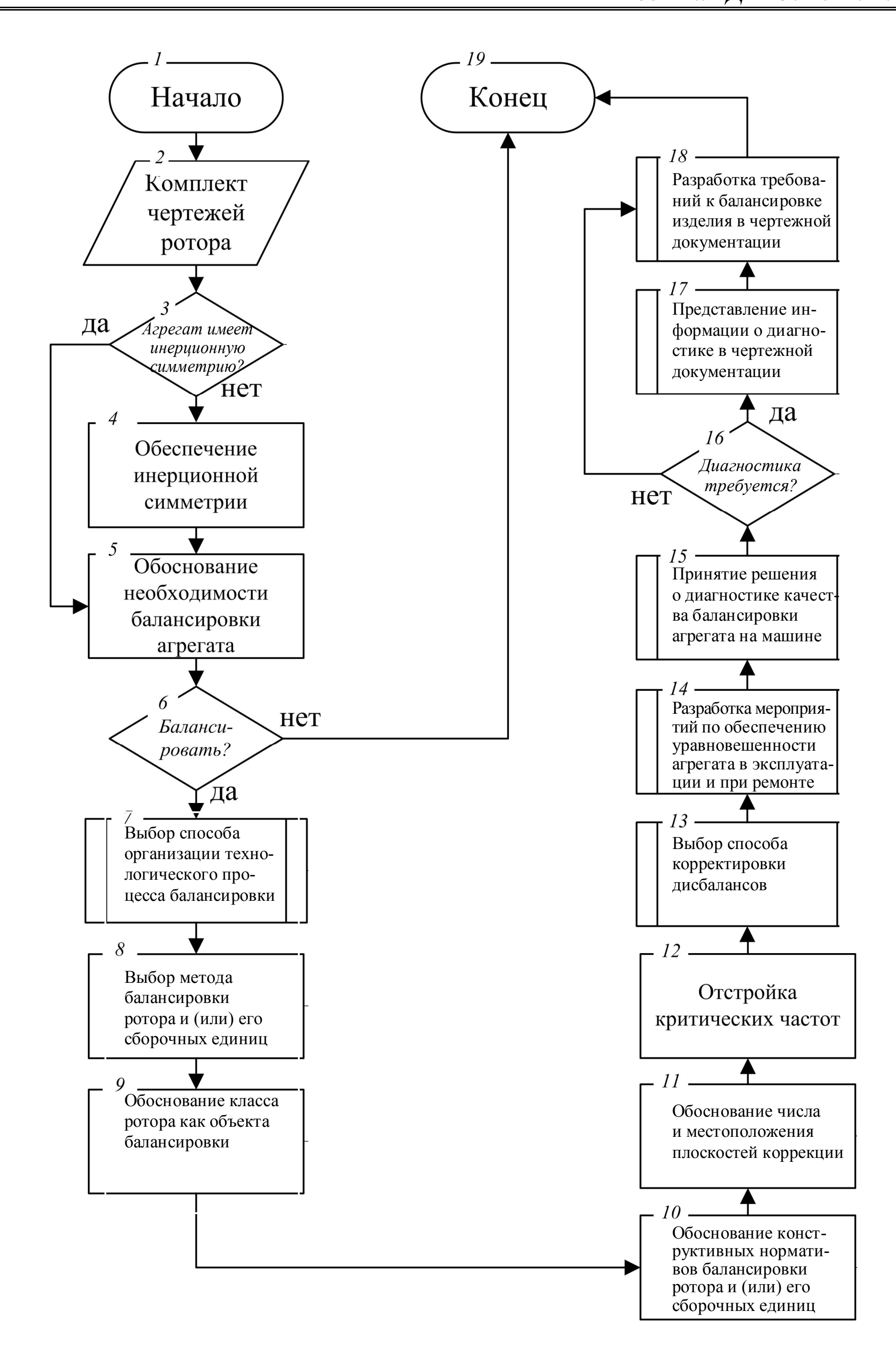



Рис. 1. Алгоритм функционирования САПР по проектированию уравновешенных конструкций ротационных агрегатов машин

На рис. 2 представлен алгоритм функционирования такой САПР, где, как и на рис. 1, блоками предопределенных операций показаны задачи, адекватное решение которых находится существующими методами. В пояснение этого алгоритма отметим:

- вводимое в блоке 2 значение *n* – определенное по чертежной документации число балансируемых деталей и сборочных единиц рассматриваемого ротационного агрегата;

- вводимое в блоке 4 значение $u = 0$, если *i*-е изделие балансируется статически при помощи силы тяжести; $u = 1$, если изделие балансируется динамически; $u = 2$, если изделие балансируется статически в динамическом режиме. Вводимое там же значение $q = 0$, если балансируе-

мое изделие не меняет своей геометрии при функционировании; $q=1$ – при малых и $q=2$ – при конечных изменениях геометрии балансируемого изделия при его функционировании в машине.

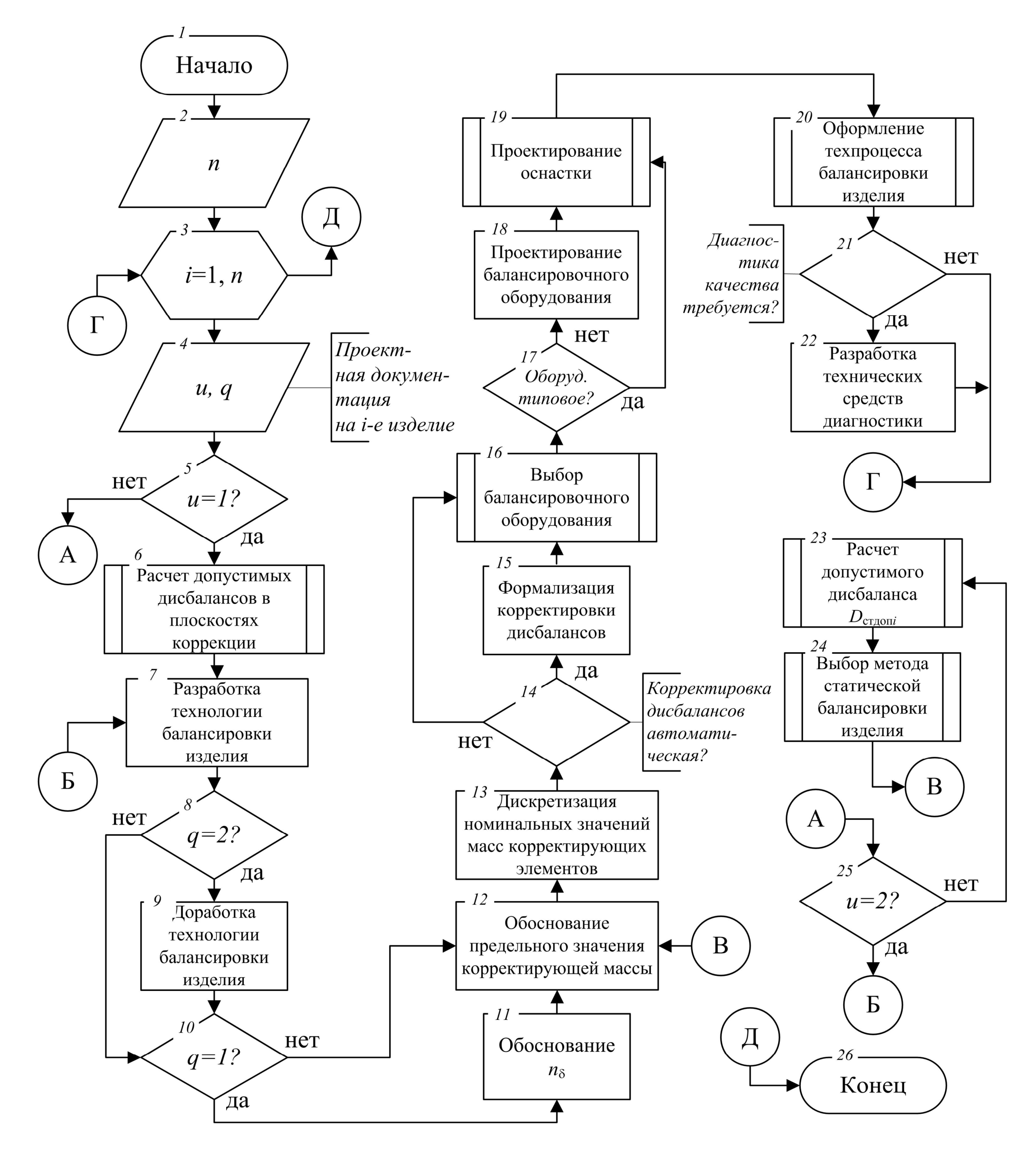



Рис. 2. Алгоритм функционирования САПР ТПП работ
по балансировке ротационного агрегата машины

Использование в конструкциях балансировочного оборудования управляемого частотно регулируемого привода [6] (балансировочные станки), а также оригинальных методик оценки характеристик колебаний опор ротора и идентификации дисбалансов изделий, реализуемых с по-

мощью компьютера (балансировочные станки и балансировочные комплекты), позволяет создать балансировочное оборудование нового поколения.

Балансировочный станок, создаваемый на отмеченной основе, имея специальное или специализированное назначение, в отличие от современных станков может эффективно использоваться для балансировки самых различных изделий серийного и единичного производства, не требуя для этого изменения конструкции и измерительной системы.

Алгоритмически функционирующий балансировочный комплект, создаваемый на той же основе, и разработанная технология его использования дают гарантию качества балансировки агрегата на месте. Он может быть рекомендован к использованию в любых отраслях машиностроения как средство диагностики в производстве и как средство балансировки в эксплуатации и при ремонте машин.

**Апробация и внедрение разработок.** Результаты прикладных исследований получили апробацию их широким внедрением в практику проектирования, производства и ремонта машин самого различного назначения:

- обоснованы конструктивные и технологические нормативы балансировки барабанов измельчителей зерноуборочных комбайнов, отнесённых к классу квазижёстких роторов [7]. Они коренным образом отличаются от нормативов, которые были приняты проектировщиком для этого агрегата, необоснованно интерпретируемого как жёсткий ротор. Эти нормативы внедрены как в конструкцию, так и в технологию балансировки этого агрегата в ООО «КЗ "Ростсельмаш"»;

- по заказам предприятий осуществлены модернизация трёх и изготовление ещё трёх оригинальных балансировочных станков нового поколения. Все они безотказно и эффективно работают (некоторые уже более трёх лет), не теряя своих преимуществ перед отечественными и зарубежными аналогами производства известных фирм (рис. 3);

- изготовленный балансировочный комплект нового поколения (рис. 4) был эффективно использован для балансировки на месте карданных валов автомобилей (в 2010 г. эту балансировку прошло более 150 автомобилей), вентиляторов проточно-отопительных систем производственных цехов, барабанов измельчителей зерноуборочных комбайнов, барабанов стенда измерения мощности автомобиля и других ротационных агрегатов машин после их ремонта.




Рис. 3. Балансировочный станок нового поколения,
созданный в ДГТУ для ООО «Новатор-Плюс» (г. Ростов-на-Дону)

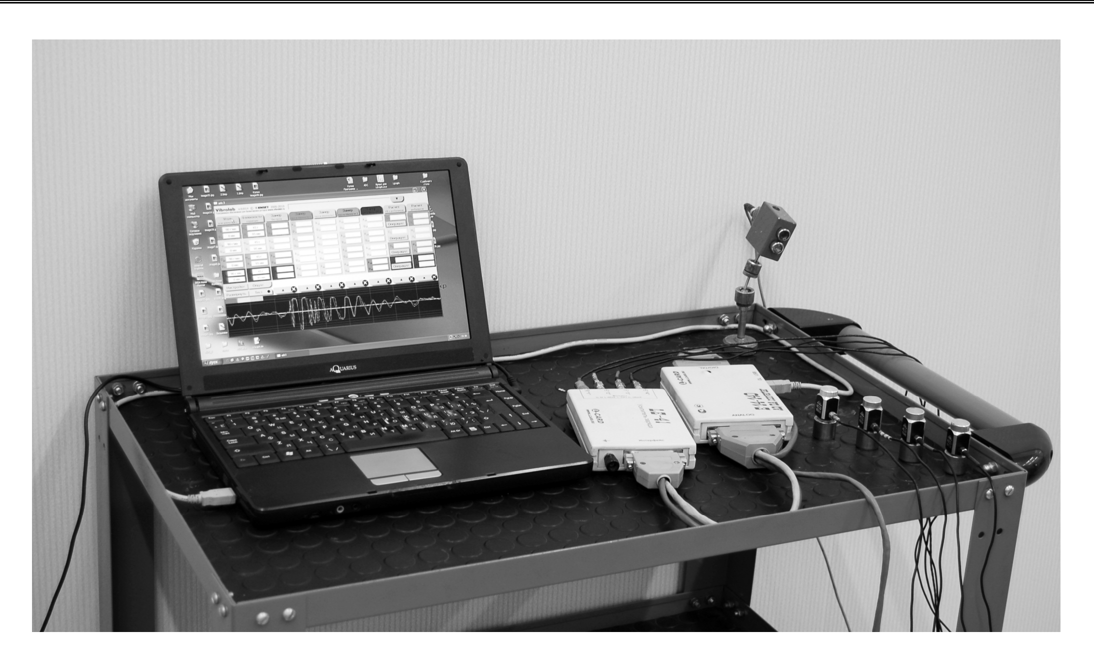


Рис. 4. Балансировочный комплект нового поколения

**Заключение.** Представленный выше системный подход к созданию уравновешенных конструкций ротационных агрегатов машин, основанный на раскрытии новых закономерностей механики таких агрегатов, и его использование для решения всего комплекса прикладных задач балансировки при проектировании, производстве, эксплуатации и ремонте машин следует признать существенным вкладом в развитие современной теории и практики балансировки, позволяющим на общей теоретической основе решать эти задачи в любой отрасли машиностроения.

**Библиографический список**

1. ГОСТ 19534. Балансировка вращающихся тел. Термины. – М.: Издательство стандартов, 1974. – 29 с.

2. Справочник по балансировке / М.Е. Левит [и др.]; под общ. ред. М.Е. Левита. – М.: Машиностроение, 1992. – 464 с.

3. Полушкин О.А. Механика квазигибкой роторной системы / О.А. Полушкин, О.О. Полушкин // Вест. Донск. гос. техн. ун-та. – 1999. – С. 88–94.

4. Лукьянов А.Д. Рекурсивный алгоритм наименьших квадратов в микропроцессорной системе балансировки ротора / А.Д. Лукьянов // Современные проблемы информатизации в технике и в технологиях. Вып. 13 : сб. тр. – Воронеж: Научная книга, 2008. – С. 301–302.

5. Полушкин О.А. Идентификация дисбалансов двухопорного жесткого ротора – новый подход / О.А. Полушкин, О.О. Полушкин // Труды VIII Междунар. науч.-техн. конф. по динамике технологических систем. – Т. 3. – Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2007. – С. 183–187.

6. Онищенко Г.Б. Электрический привод: учеб. для вузов / Г.Б. Онищенко. – М.: РАСХН, 2003. – 320 с.

7. Савенков М.В. Моделирование технологического процесса балансировки барабанов измельчителей зерноуборочных комбайнов / М.В. Савенков, О.А. Полушкин, О.О. Полушкин // Известия ТулГУ. Серия «Проблемы сельскохозяйственного машиностроения». Вып. 1. – Тула: Изд-во ТулГУ, 2004. – С. 172–178.

Материал поступил в редакцию 01.06.11.

**References**

1. GOST 19534. Balansirovka vrashhayushhixsya tel. Terminy`. – M.: Izdatel`stvo standartov, 1974. – 29 s. – In Russian.

2. Spravochnik po balansirovke / M.E. Levit [i dr.]; pod obshh. red. M.E. Levita. – M.: Mashinostroenie, 1992. – 464 s. – In Russian.

3. Polushkin O.A. Mexanika kvazigibkoj rotornoj sistemy` / O.A. Polushkin, O.O. Polushkin // Vest. Donsk. gos. texn. un-ta. – 1999. – S. 88–94. – In Russian.

4. Luk`yanov A.D. Rekursivny`j algoritm naimen`shix kvadratov v mikroprocessornoj sisteme balansirovki rotora / A.D. Luk`yanov // Sovremenny`e problemy` informatizacii v texnike i v texnologiyax. Vy`p. 13 : sb. tr. – Voronezh: Nauchnaya kniga, 2008. – S. 301–302. – In Russian.

5. Polushkin O.A. Identifikaciya disbalansov dvuxopornogo zhyostkogo rotora – novy`j podxod / O.A. Polushkin, O.O. Polushkin // Trudy` VIII Mezhdunar. nauch.-texn. konf. po dinamike texnologicheskix sistem. – T. 3. – Rostov n/D: Izdatel`skij centr DGTU, 2007. – S. 183–187. – In Russian.

6. Onishhenko G.B. E`lektricheskij privod: ucheb. dlya vuzov / G.B. Onishhenko. – M.: RASXN, 2003. – 320 s. – In Russian.

7. Savenkov M.V. Modelirovanie texnologicheskogo processa balansirovki barabanov izmel`chitelej zernouborochny`x kombajnov / M.V. Savenkov, O.A. Polushkin, O.O. Polushkin // Izvestiya TulGU. Seriya «Problemy` sel`skoxozyajstvennogo mashinostroeniya». Vy`p. 1. – Tula: Izd-vo TulGU, 2004. – S. 172–178. – In Russian.

## SYSTEM REGULARITY OF MECHANICS AND ROTOR BALANCING

**O.O. POLUSHKIN**

(Don State Technical University)

*New results of the rotor dynamics fundamental research are presented. These results permit to realize the system approach to the rotor balancing at all stages of the creation and operation of the omni-purpose machines. The results implementation is exemplified.*

***Keywords:*** *rotor, balancing, system approach.*

УДК 627.52

# ПРОТИВОСЕЛЕВЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ В БАССЕЙНАХ ЧЕРНОМОРСКОГО ПОБЕРЕЖЬЯ

**А.И. ТИТОРЕНКО**
(Новочеркасская государственная мелиоративная академия)

*Рассматривается состояние противоселевой защиты и эффективность применения противоселевых мероприятий на примере горных районов Черноморского побережья России. Затрагиваются вопросы повышения активности селевых бассейнов, вызванные бурным строительством спортивных Олимпийских объектов и инфраструктуры на Черноморском побережье.*
***Ключевые слова:*** *сель, эрозия, Олимпийские объекты, мелиоративные мероприятия.*

**Введение.** Сель – стремительный поток большой разрушительной силы, состоящий из смеси воды и рыхлообломочных пород, внезапно возникающих в бассейнах горных рек в результате интенсивных дождей, бурного снеготаяния, а также прорыва завалов и морен. Характеризуется внезапностью возникновения, кратковременностью действия, большой разрушительной силой и способностью останавливаться в пределах конуса выноса. Селевые потоки в силу своего многокомпонентного состава (крупные камни, глинисто-коллоидные частицы, мелкозернистая фракция и водная составляющая) подразделяются на два основных вида: структурные (связные) и турбулентные (несвязные), отличающиеся друг от друга как по качественным, так и по количественным признакам [1–3].

Формированию селевых потоков способствуют: сильная расчлененность рельефа водосбора, расположение верховьев водотоков выше верхней границы леса, процессы активного выветривания, наличие продуктов разрушения горных пород в эрозионных врезах, различные виды гравитационных процессов, сейсмические сдвиги, вулканические извержения при сопровождении сильных дождей и интенсивного снеготаяния. Прохождение селевого потока обычно сопровождается резким понижением русловых отметок в верховьях (так как русловые отложения с этих участков уносятся селевыми потоками вниз по течению) и значительным их понижением в районе конуса выноса.

По приближенным данным, среднегодовой объем грунта, сносимого с 1 км$^2$ отдельных горных селеносных районов, составляет около 400 м$^3$, а в отдельных случаях разовый выброс твердого селевого стока со всего бассейна достигает 1 млн. м$^3$ и более. Селеносный водоток обычно является притоком второго и высшего порядка и характеризуется небольшой длиной и значительными уклонами, а также ярко выраженными верхним участком (уклоны $i$ = 0,4–0,2) и транзитной зоной ($i$ = 0,2–0,1) с крутыми боковыми откосами, а также конусом выноса ($i$ = 0,1–0,01) [2].

Исследование состояния противоселевой защиты горных районов позволяет сделать вывод о высокой эффективности применения комплексных противоселевых мероприятий. Борьба с селями сопряжена с большими трудностями, зависит от структуры селя, условий его формирования и движения. Применение противоселевых мероприятий различного рода является фундаментальной основой в борьбе по улучшению водного режима рек, борьбе с эрозией почв и за повышение плодородия горных территорий.

**Активизация эрозионных процессов.** Селевые потоки формируются во всех горных и некоторых холмистых районах и сопровождаются интенсивными эрозионными процессами. В России площадь эрозионно-опасных и подверженных эрозии сельскохозяйственных угодий составляет

124 млн. га, в том числе пашни 84,3 млн. га [4]. В целом по России на склоновых землях смывается около 30 % вносимых удобрений, а в Центрально-черноземных областях и Татарстане – до 50 %. Вследствие эрозионных процессов содержание гумуса в почве за последние 20–25 лет снизилось на 25–30 %. Потери почвы составляют в среднем до 30–50 т/га, вынос гумуса 0,5–0,6 т/га и 0,2–0,3 т/га азота, фосфора и калия, что в 15–20 раз больше того количества удобрений, которое вносится на поля в настоящее время.

Чем сильнее эродирован бассейн и чем больше в нем выходов материнских пород, тем большее значение приобретают мелиоративно-технические мероприятия, проводимые как на склонах, так и в руслах. На склонах осуществляется террасирование, строительство водосбросных сооружений и нагорных канав, закрепление рыхлых и неустойчивых участков. В результате прекращаются поверхностный сток и эрозия почв, а в некоторых случаях обеспечивается безопасный сброс поверхностного стока.

В настоящее время в связи с предстоящими в 2014 г. Олимпийскими играми происходит активное освоение и застройка горных территорий. Строительство туристских Олимпийских объектов ведется на территории Краснополянского лесничества Сочинского национального парка. Земли общей площадью более 800 га были изъяты и переданы строительным подрядчикам [5]. На данных площадях происходит вырубка леса, раскорчевка вырубок и полная минерализация различных трасс с уничтожением гумусового и предохранительного горизонтов бурых лесных почв при одновременном нарушении других компонентов окружающей среды в лесах, примыкающих к строящимся объектам.

Перечисленные выше факты способствуют активизации эрозионных процессов в почвах не только на строящихся лыжных трассах (лишенных защитного надпочвенного покрова), но и на примыкающих к ним участках лесов с техногенно-нарушенной средой [5]. Данные процессы ранее не изучались, поэтому соответствующие противоэрозионные мероприятия трудно обосновывать.

**Мелиоративные противоселевые мероприятия.** Мелиоративные мероприятия направлены в основном на регулирование стока путем улучшения или восстановления нарушенных ландшафтов на горных склонах, таких как: облесение и окустаривание, террасирование склонов с использованием террас для земледелия или различного вида лесопосадок, соблюдение противоэрозионной агротехники и улучшения пастбищ. Эти мероприятия можно разделить на лесомелиоративные и мелиоративно-технические. Лесомелиоративные мероприятия заключаются в облесении склонов и лесоразведении в руслах и на конусах выноса рек, а мелиоративно-технические мероприятия направлены на предотвращение бокового и донного размыва русел, прекращение поверхностного стока и эрозии почв. Описанные меры должны содействовать осаждению твердого стока, использованию осветленных вод, безопасному сбросу селевых потоков.

Облесение горных склонов является одним из старейших противоселевых мероприятий, ведь само развитие селевых явлений в различных странах земного шара было вызвано уничтожением лесов на горных склонах. Следует отметить, что лесонасаждение на горных склонах сопряжено с большими трудностями, заключающимися в том, что в засушливых районах и на склонах с бедными почвами вырастить кустарниковые и лесные культуры очень сложно. Большая крутизна склонов затрудняет применение техники при проведении лесомелиоративных работ и зачастую требует специальных технологических приспособлений и конструктивных решений, поэтому лесонасаждение в горных районах является весьма трудоемким, длительным и затратным мероприятием.

В XX веке в течение многих десятилетий почти все попытки вырастить лес в восточной части Крыма терпели неудачу, впоследствии выяснилось, что гибель посадок происходила из-за неправильной агротехники и отсутствия надлежащей подготовки почвы под лесопосадки. Исследования, проводимые Крымской горно-лесной опытной станцией [6] показали, что для данных

условий нормальный рост растений может быть обеспечен при хорошей обработке площадки шириной не менее 3 м. Чем больше размеры обработанной площадки, тем благоприятнее режим влажности для роста и развития растений. Этой станцией были разработаны механизированные способы подготовки почвы под лесные насаждения, нормы влажности и конструктивные методы лесомелиорации для условий засушливых районов Крыма. Для склонов крутизной до 8° рекомендуется сплошная обработка, для склонов крутизной 8–13° – полосная и для склонов крутизной 13–30° – террасная. Минимальная ширина террас должна быть не менее 3 м, расстояние между ними зависит от крутизны склона и состояния его поверхности.

Наиболее распространенным мелиоративно-техническим мероприятием является устройство склоноукрепляющих террас (рис. 1). Террасы (террасы-каналы, нагорные каналы) применяются для уменьшения максимального расхода дождевых паводков путем перехвата склонового стока и перевода его в грунтовый либо медленного отвода в сбросные каналы или русла. Пропускная способность этих сооружений должна обеспечивать отвод паводка с вероятностью превышения 2 %. Террасы обычно устраивают с одновременным созданием на них лесных полос, также возможно устройство наносозадерживающих валов в очертании со стокоотводящими канавами-траншеями. Таким образом достигается комплексное сочетание агролесохозяйственных и мелиоративно-технических противоселевых мероприятий. Террасирование крутых склонов и их освоение садами и виноградниками является актуальной проблемой, её решение даст миллионы гектар дополнительных площадей, на которых будет исключена эрозия и возможно получение высоких и устойчивых урожаев. Террасирование с давних пор распространено в странах с горным рельефом (Япония, Индия, Шри-Ланка, страны Южной Африки, Турция, Греция, Италия и др.).



Рис. 1. Склоноукрепляющая терраса

Противоселевые террасы широко распространены на территории Северного Кавказа, в том числе на Черноморском побережье. В XX веке был разработан и осуществлен комплекс противоселевой защиты автодороги на участке от Новороссийска до Кабардинки. Этот комплекс представляет собой каскады склоноукрепительных террас с расположенными на них лесными на-

саждениями. Проведенные мероприятия позволили существенно снизить селевую активность и обезопасить транспортную инфраструктуру на данном участке.

Расчет водопоглощающей способности террас и межтеррасовых расстояний производится по суточным максимумам осадков заданной повторяемости в зависимости от селеопасности бассейна и степени надежности противоселевых мероприятий. Что касается стокозадерживающих и ливнеотводящих канав, то расчет их емкости, уклонов и расстояний между ними производится в соответствии с критической скоростью размыва. Определение критической скорости размыва и расчет водозадерживающей способности террас рекомендуется производить исходя из получасовой продолжительности ливня средней интенсивности. Этот способ, основанный на анализе среднеазиатских ливней, возможно рекомендовать для засушливых районов. Для районов, богатых осадками, расчет следует вести по ливню, имеющему интенсивность, близкую к максимальной [6].

Основные требования к водозадерживающим и стокоотводящим канавам заключаются в аккумуляции ими всей воды, поступающей со склонов, и исключении размыва склона и самих канав (рис. 2).

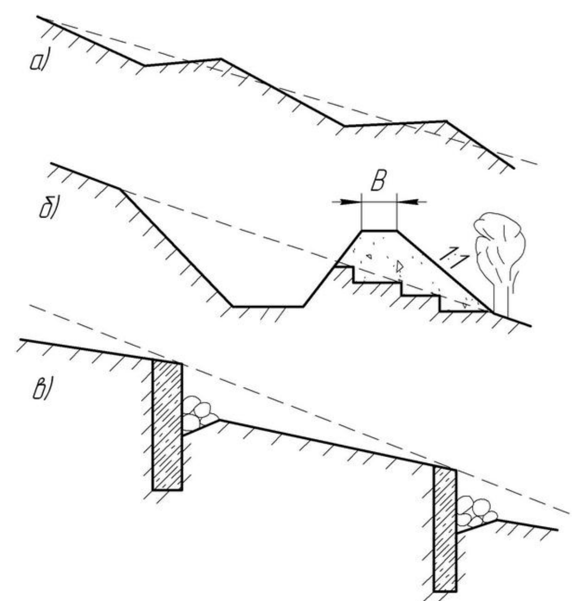



Рис. 2. Регулирующие мероприятия на склонах:
а – ступенчатая терраса; б – то же с валами; в – то же с порогами

Если полученные в результате расчета размеры канав допускают скорости, вызывающие размыв, а уменьшить продольный уклон канав невозможно или явно нерационально, то необходимо укреплять их русла каменной, бетонной или габионной облицовкой, чтобы исключить донный и бортовой размыв. Не допускается устройство стокоотводящих канав без верховых валов необходимых размеров, задерживающих наносы, они могут быстро заполниться обломочным материалом [7].

В настоящее время активно применяются водоотводящие валы и канавы при строительстве лыжных Олимпийских трасс на территории Сочинского национального парка, что позволяет временно приостановить эрозионные процессы. Данные мероприятия используются в комплексе с соломенно-джутовыми матами, прикрепляющимися при помощи металлических нагелей, и дающими существенный стабилизирующий эффект.

Срез и террасирование склонов должны производиться на основании детального и всестороннего изучения геоподосновы почвы и с учетом задач дальнейшего использования террито-

рии. Особенно это важно для определения количества террас и крутизны откосов срезаемых пород. При срезке грунта в активной части оползня грунт следует располагать в пассивной его части, на контрфорсах, контрбанкетах. Для нарезки и обработки террас возможно активное использование бульдозеров, рыхлителей и экскаваторов различной модификации и мощности. Сложность применения современной высокопроизводительной строительной техники заключается в труднодоступности большинства горных селеопасных бассейнов. Следует отметить, что террасы помимо своей лесомелиоративной роли на крутых селеопасных склонах повышают устойчивость территории против размывов и оползней, что подтверждается множеством экспериментов.

При использовании склонов под сельскохозяйственные культуры должна быть запрещена сплошная распашка под однолетние культуры склонов круче 10–15° градусов. На несмытых почвах высокой производительности (склоны крутизной до 3°) сельскохозяйственные культуры можно выращивать способами, принятыми на равнинных территориях страны. Однако во избежание развития эрозии почв на площадях с более значительными уклонами (более 3°) необходимо применять предупредительные меры защиты почв от эрозии. На слабосмытых почвах от хорошей до средней производительности (склоны крутизной от 3 до 8°) выращивание сельскохозяйственных культур возможно только при широком применении противоэрозионной системы земледелия и агротехники. Среднесмытые почвы средней производительности (склоны крутизной от 8 до 10–15°), как правило, нуждаются в более действенных противоэрозионных мероприятиях [1]. Кроме террасного земледелия на них рационален только посев сельскохозяйственных культур полосами, а также создание буферных полос из многолетних растений и культур многолетников.

Наряду со склоновым лесоразведением серьезным противоселевым мероприятием является русловое лесоразведение. Оно применяется в целях окончательного закрепления русел селевых логов, предотвращения дальнейших размывов бортов русла, а также защиты от занесения селевыми выносами. В руслах селевых бассейнов рекомендуется создание как линейных, так и массивных лесных насаждений, к первым относятся илофильтры, живые запруды, палисады, облесение подножий склонов и оврагов, ко вторым – облесение водоемов, создаваемых плотинами, и облесение пойм широких водотоков.

Создание илофильтров осуществляется посадкой ив с площадью питания 0,5×0,5 м, живые запруды представлены растениями, высаженными близко друг к другу по одной линии, поперек течения. Для лесоразведения в сухих селевых руслах рекомендуются засухоустойчивые древесные породы. Палисады высаживают в руслах, где происходят небольшие сели, во избежание донного размыва. Они представляют собой посадки различных древесных пород в два-три ряда, размер междурядий 1,5–2,0 м, а сами деревья в ряду на расстоянии 0,7–1,0 м [6]. При больших расходах сплошное облесение по дну не рекомендуется, а целесообразно центральную часть русла засаживать низкими ивами, обеспечивающими задержание селевых выносов. Облесение водоемов, образованных противоселевыми плотинами и запрудами, повышает их устойчивость против размыва. Облесение подножий склона в целях предупреждения их подмыва и обрушения производится в несколько рядов выше уреза воды. Создание приовражных полос и облесение береговых склонов водотоков необходимо производить с учетом регулирования как поверхностного, так и руслового стоков, а в отдельных местах – в комплексе с берегоукрепительными сооружениями [2]. В настоящее время активные берегоукрепительные работы можно наблюдать в бассейне реки Мзымта, производящиеся посредством установки габионных берегоукрепительных конструкций (рис. 3).

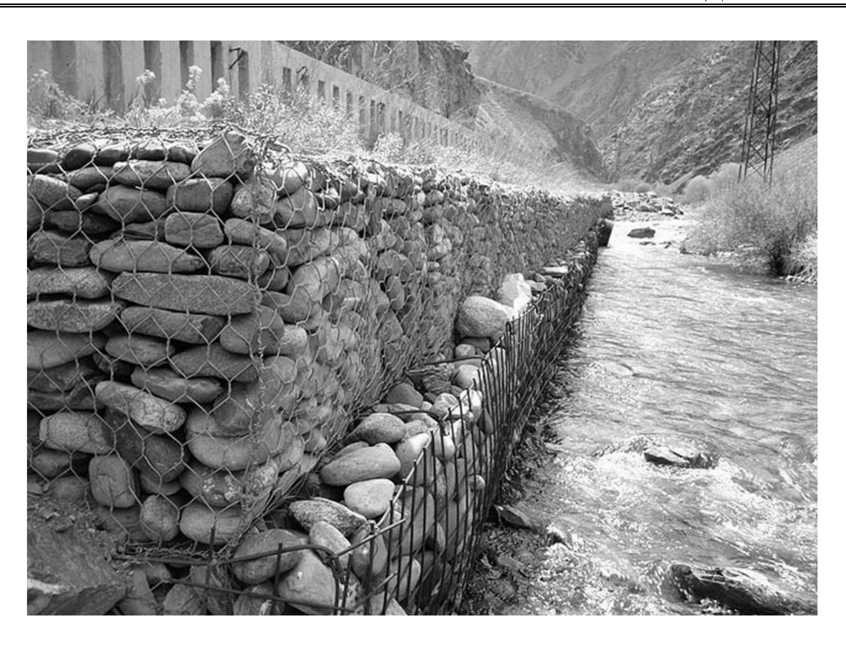


Рис. 3. Укрепление берега габионными конструкциями

Самым опасным селевым бассейном Черноморского побережья России является река Мзымта. В нем отмечается более 100 селевых русел, по которым периодически проходят селевые потоки различного генезиса и типа. В настоящее время в бассейне реки Мзымта наряду с активными строительными работами происходит трудно контролируемая вырубка леса, многие работы ведутся с нарушением экологических и технических норм. В реке наблюдается постоянно высокая мутность воды, вследствие чего нарушаются рекреационные зоны отдыха местного населения и туристические маршруты. Вырубка леса приводит к активному изменению селевых бассейнов, защитные противоселевые мероприятия не проводятся, их разработкой планируется заняться после окончания строительства спортивных туристских объектов.

Русловое лесоразведение является завершающим этапом всех лесомелиоративных работ, проводимых на склонах селевого бассейна.

Лесомелиоративными и лесовосстановительными мероприятиями должны быть охвачены не только склоны и русла селевых бассейнов, но и конусы их выноса. К работам по линейному лесоразведению можно отнести создание палисад, облесение подножий слонов и лесоразведение в оврагах и поймах широких водотоков. Значительно сложнее облесение конусов выноса. Неполивное лесоразведение может быть организовано только на хорошо увлажняемых площадях, сухие участки могут быть облесены только при искусственном орошении [1].

**Заключение.** Общеизвестно, что причиной, влияющей на образование разрушительных селевых потоков, является уничтожение кустарниково-травяного и лесного покрова. При этом следует оговориться, что различные авторы по-разному оценивают значения лесонасаждений как основного профилактического мероприятия, предупреждающего развитие селевых потоков. Однако неоспоримо, что уничтожение растительного покрова влечет за собой усиление эрозии почвы и более интенсивное образование селевых потоков. К сожалению, далеко не во всех случаях применение мелиоративных мероприятий может оказаться эффективным. Имеется большое количество селевых водосборов, где геолого-геоморфологические условия селеформирования исключают или весьма ограничивают сферу рационального применения подобных мероприятий.

Решение проблемы противоселевой защиты горных и предгорных районов требует серьезного внимания и комплексного методичного подхода.

**Библиографический список**

1. Гагошидзе М.С. Селевые явления и борьба с ними / М.С. Гагошидзе. – Тбилиси: Сабчота Сакартвело, 1970. – 385 с.
2. Мирцхулава Ц.Е. Основы физики и механики эрозии русел / Ц.Е. Мирцхулава. – Л.: Гидрометеоиздат, 1988. – 303 с.
3. Натишвили О.Г. Гидравлические закономерности связных селей / О.Г. Натишвили, В.И. Тевзадзе. – Тбилиси: Мецниереба, 1996. – 155 с.
4. Защита народохозяйственных объектов от воздействия селевых потоков: мат-лы междунар. науч.-техн. конф., г. Пятигорск, 17–21 нояб. 2003 г. – Новочеркасск; Пятигорск, 2003. – Вып. 1. – 111 с.
5. Ивонин В.М. Почвозащитная роль горных лесов в районах строительства олимпийских объектов / В.М. Ивонин, Н.Д. Пеньковский, В.Б. Степаницкий // Лесное хозяйство. – 2009. – № 6. – С. 22–25.
6. Флейшман С.М. Сели / С.М. Флейшман. – Л.: Гидрометеоиздат, 1978. – 312 с.
7. Инженерная защита территорий, зданий и сооружений от опасных геологических процессов. Основные положения // СНиП 22-02-2003. М., 2004.

Материал поступил в редакцию 26.05.11.

**References**

1. Gagoshidze M.S. Selevy`e yavleniya i bor`ba s nimi / M.S. Gagoshidze. – Tbilisi: Sabchota Sakartvelo, 1970. – 385 s. – In Russian.
2. Mirczxulava Cz.E. Osnovy` fiziki i mexaniki e`rozii rusel / Cz.E. Mirczxulava. – L.: Gidrometeoizdat, 1988. – 303 s. – In Russian.
3. Natishvili O.G. Gidravlicheskie zakonomernosti svyazny`x selej / O.G. Natishvili, V.I. Tevzadze. – Tbilisi: Meczniereba, 1996. – 155 s. – In Russian.
4. Zashhita narodnoxozyajstvenny`x ob``ektov ot vozdejstviya selevy`x potokov: mat-ly` mezhdunar. nauch.-texn. konf., g. Pyatigorsk, 17–21 noyab. 2003 g. – Novocherkassk; Pyatigorsk, 2003. – Vy`p. 1. – 111 s. – In Russian.
5. Ivonin V.M. Pochvozashhitnaya rol` gorny`x lesov v rajonax stroitel`stva olimpijskix ob``ektov / V.M. Ivonin, N.D. Pen`kovskij, V.B. Stepaniczkij // Lesnoe xozyajstvo. – 2009. – # 6. – S. 22–25. – In Russian.
6. Flejshman S.M. Seli / S.M. Flejshman. – L.: Gidrometeoizdat, 1978. – 312 s. – In Russian.
7. Inzhenernaya zashhita territorij, zdanij i sooruzhenij ot opasny`x geologicheskix processov. Osnovny`e polozheniya / SNiP 22-02-2003. M., 2004. – In Russian.

## MUDFLOW CONTROL MEASURES AND EFFECTIVENESS OF THEIR APPLICATION IN THE BLACK SEA BASINS

**A.I. TITORENKO**
(Novocherkassk State Reclamation Academy)

*Anti-mudflow protection and effectiveness of the anti-mudflow measures in the mountainous areas of the Black Sea coast in Russia as an example are considered. Some issues on the activity increase of the mudflow basins caused by the intensive construction of the venues and infrastructure at the Black Sea coast are touched.*
***Keywords:*** *mudflow, erosion, venues, melioration measures.*

УДК 669.017.16:539.384

# КИНЕТИКА И МЕХАНИЗМ РОСТА ТРЕЩИНЫ В СТАЛИ СО СТРУКТУРОЙ ФЕРРИТНО-МАРТЕНСИТНОГО КОМПОЗИТА

**В.Н. ПУСТОВОЙТ, С.А. ГРИШИН, М.В. ЗАЙЦЕВА**
(Донской государственный технический университет)

*Приведены результаты исследований по изучению поведения трещины в сталях со структурой ферритно-мартенситного композита. Показано, что скорость развития трещины в таких сталях существенно ниже, чем в той же стали со структурой сорбит отпуска. Это обсуждается с позиции особого механизма фронтального движения трещины в композите с прочными волокнами и пластичной матрицей.*
***Ключевые слова:*** *естественный ферритно-мартенситный композит, кинетика и механизм роста трещины, трещиностойкость.*

**Введение.** Для высоконагруженных строительных и мостовых конструкций, котлов и трубных изделий высокого давления, нефте- и газохранилищ и, особенно, устройств с высокой мощностью локальных соударений (броневой лист) актуальным является применение материалов, обеспечивающих одновременно высокое сопротивление пластической деформации и характеристик сопротивления разрушению. Последнее обусловлено как наличием металлургических дефектов (микротрещины, неметаллические включения), так и образованием трещиноподобных дефектов в процессе эксплуатации.

Целью настоящей работы являлось изучение поведения трещины в образцах из стали марки 09Г2С со структурой естественного ферритно-мартенситного композита (ЕФМК). Для сравнения выбирались образцы из той же стали со структурой сорбита отпуска.

**Конструирование стального композита с ферритно-мартенситной структурой.** Для получения структуры ЕФМК ранее предлагалось [1–3] нагревать доэвтектоидную сталь в межкритический интервал температур $Ac_1$ – $Ac_3$, осуществлять прокатку с большой степенью обжатия (до 75%) для получения ориентированной аустенито-ферритной структуры и производить закалку, в результате которой формируется ориентированная ферритно-мартенситная структура. Недостатки этой технологии очевидны, во-первых, необходимо осуществлять пластическую деформацию в межкритическом интервале температур (МКИ) с большой степенью обжатия, для чего требуется мощное прессовое оборудование (низкая температура нагрева), во-вторых, невозможно получение композита в готовом изделии, а только в заготовке и, в-третьих, проблематично получать достаточно строгую ориентировку пластин мартенсита и феррита вдоль оси деформации. Разориентировка должна быть не более 10–15°, поскольку это обстоятельство в значительной степени определяет механизм передачи нагрузки от пластичной матрицы к прочному волокну и вид разрушения композита.

Иная идея была выдвинута В.Н. Пустовойтом [4] в середине девяностых годов. Предлагается использовать в качестве исходного материала доэвтектоидную сталь со строчечной феррит-но-перлитной структурой, считающейся браком металлургического передела. Такая структура возникает в связи с выделением избыточного феррита на сульфидных включениях (Fe, Mn)S, которые в процессе прокатки или волочения вытягиваются в пластины или волокна. При этом в процессе производства стали нет необходимости прикладывать специальные усилия для десульфурации расплава, наоборот, необходимо обеспечить содержание серы на верхнем пределе марочного состава. Конечно, в процессе прокатки или волочения надо обеспечить необходимые степени деформации на каждом проходе, чтобы получить отношение $l/d$ перлитной фазы ($l$ – длина пластин или волокна; $d$ – толщина пластин или диаметр волокна), так как это соотношение для дискретных волокон является важной величиной, определяющей свойства композита в

целом [2–5]. Стали со строчечной структурой, имеющие почти идеальную ориентировку полос перлита и феррита вдоль оси прокатки (рис.1), могут послужить основой для получения естественного композита с дуальной ферритно-мартенситной структурой, если их подвергать закалке из межкритической области температур.

Химический состав стали 09Г2С, определенный с помощью оптико-эмиссионного спектрометра «Q 8 – Magellan», указан в таблице. Как видно, содержание серы находится на верхнем пределе марочного состава 0,04% по массе [6].

Химический состав образцов из стали 09Г2С

| Содержание элементов, % по массе | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| C | Si | Mn | S | P | Cr | Mo | Ni | Al | Co |
| 0,112 | 0,629 | 1,598 | 0,042 | 0,012 | 0,088 | 0,44 | 0,119 | 0,040 | 0,014 |

Ферритно-мартенситный композит получали нагревом в межкритический интервал температур $Ac_1$ – $Ac_3$, в котором проводилась выдержка, необходимая для рафинирования феррита и получения аустенита с существенно большим содержанием углерода, чем в исходной стали. Нагрев образцов осуществлялся в камерной лабораторной электропечи СНОЛ – 6,7/1300. Точность поддержания температуры в печи составляет ± 8°С. Для определения температуры закалки, обеспечивающей формирование дуальной ферритно-мартенситной структуры, образцы стали охлаждались в воде из МКИ температур. Для стали 09Г2С температуру закалки определяли сначала ориентировочно в интервале 725–860°С по диаграмме состояния, а затем уточняли по данным металлографических исследований.

В результате была выбрана температура 745°С, которая формирует структуру, содержащую 20–25 % мартенсита (рис. 2), так как известно [5], что при большей объемной доле мартенсита, увеличении при этом предела текучести и уменьшении размера зоны пластической деформации матрицы работа разрушения уменьшается.

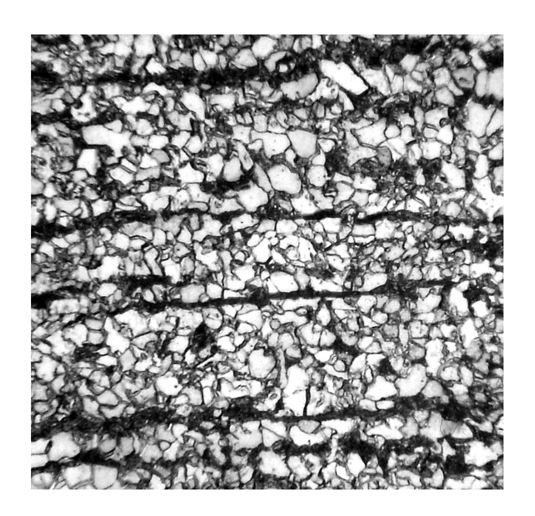


Рис. 1. Строчечная ферритно-перлитная структура стали 09Г2С, х100

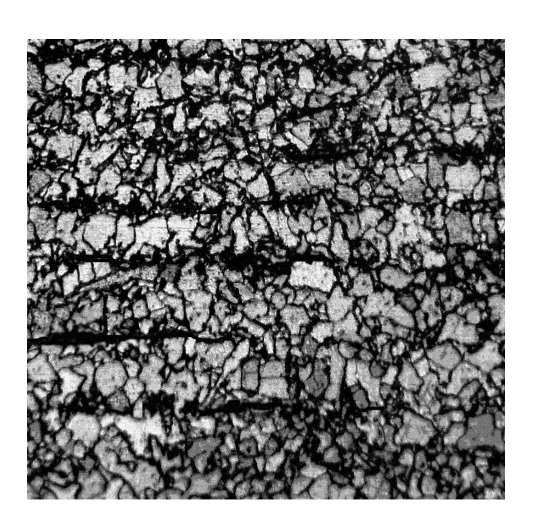


Рис. 2. Сталь со структурой ЕФМК (25 % мартенсита), х200

**Методика исследования.** Кинетику развития трещины исследовали при циклических испытаниях призматических образцов (10х11 мм) с надрезом (r = 0,25 мм, глубина 1 мм) на специальном вибраторе, работающем по схеме вращения неуравновешенной массы, при которой образец подвергается консольному асиметричному изгибу. За образованием трещины можно было визуально

наблюдать с помощью бинокулярного микроскопа, а развитие трещины регистрировали методом электропотенциалов [7, 8] в координатах «разность потенциалов - время», которую потом расшифровывали с помощью тарировочного графика для построения зависимости «длина трещины – количество циклов нагружения». Графическим дифференцированием этой зависимости определяли также изменения скорости роста трещины на разных участках ее длины.

**Обсуждение результатов.** Результаты эксперимента иллюстрирует рис. 3. Видно, что разрушение стали со структурой ЕФМК наступает через $90 \cdot 10^4$ циклов испытания, в то время как сталь со структурой сорбита отпуска выдерживает только $78 \cdot 10^4$ циклов. В обоих случаях процесс образования трещины у надреза является структурно нечувствительным, скорость роста трещины на начальной стадии образования происходит с одинаковой скоростью, однако в дальнейшем кинетика развития трещины существенно отличается для двух сравниваемых структур.

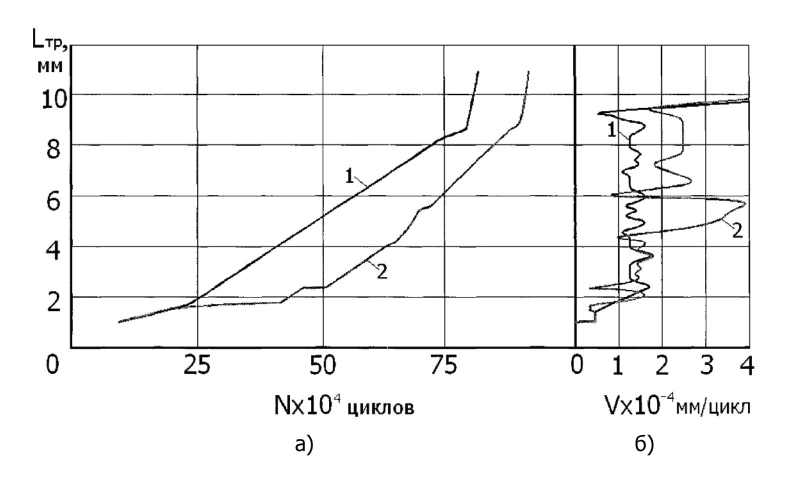



Рис. 3. Зависимость длины трещины от числа циклов (а)
и скорость роста трещины на разных участках ее траектории (б):
1 – структура сорбит отпуска; 2 – структура ЕФМК

Трещина в образце со структурой сорбита отпуска растет с примерно одинаковой скоростью (см. рис. 3,б), вплоть до разрушения, когда «живое сечение» составляет ~2,5 мм. Для стали со структурой ЕФМК образовавшаяся начальная трещина не растет по фронту в диапазоне от $20 \cdot 10^4$ до $40 \cdot 10^4$ циклов. В дальнейшем происходит рост трещины по фронту, однако по ходу роста длины наблюдаются остановки, когда скорость роста практически нулевая. При этом на некоторых участках движения трещины по фронту скорость ее роста намного выше, чем для первого случая. Разрушение происходит при оставшемся «живом сечении» ~2,3 мм.

Такое поведение трещины в образце со структурой ЕФМК обусловлено специфическим механизмом разрушения в композите с пластичной матрицей и прочными волокнами. Феноменология этого механизма похожа на механизм разрушения композиционных материалов, описанный в работе [5], и для сталей со структурой пластинчатого перлита (по сути, тоже композит) – в работе [9].

Первичная трещина как в стали со структурой сорбита отпуска, так и в композите образуется за счет растрескивания карбидов или мартенситных пластин, ближайших к острому надрезу. Далее в композите прекращается фронтальный рост трещины по причине релаксации напряжений в ее устье, инициирующей интенсивную пластическую деформацию в ферритных полосах. При этом можно полагать, что сдвиг в феррите происходит не только в микрообъемах, прилегающих к устью первичной трещины, но и в достаточно удаленных от устья микрообъемах так, что фронтальный рост трещины прекращается в течение достаточно большого количества циклов испытания. Передача от одного к другому ферритному промежутку возможна по причине того, что прочные волокна являются дискретными, и существуют промежутки между соседними фер-

ритными волокнами. При этом в прочных волокнах напряжение не превышает предела упругости, а механизм вязкого разрушения при пластическом сдвиге ферритных пластин работает путем зарождения, роста и коалесценции пор. В процессе усталостного нагружения в условиях знакопеременного изгиба в феррите образуется значительное количество вакансий, возникающих при пересечении дислокаций, а также при скольжении дислокаций с порогами [1]. Объединение единичных вакансий с образованием поры происходит в плоскости скольжения. Под действием нормальных напряжений на поверхности микропор оседают вакансии, и в результате этого пора постепенно трансформируется в трещину [10]. При этом возникает ситуация достижения практически полной нечувствительности к надрезу (с возникшей начальной трещиной) в связи с развитием процесса расслоения в направлении, параллельном волокнам (рис. 4).

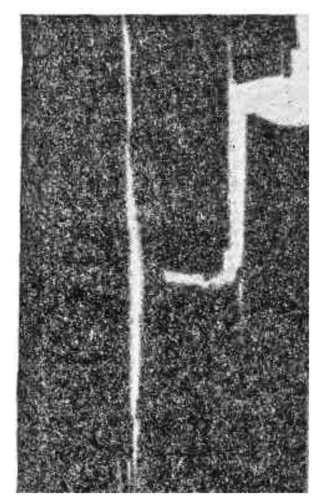


Рис. 4. Разрушение у конца надреза в композите (расслоение вдоль волокна). А. Келли [5]

Вклад работы деформирования матрицы в работу разрушения композита пропорционален энергии, затраченной на пластическое деформирование матрицы до ее разрушения в единице объема *U*, умноженной на объем *v* матрицы, деформированный при образовании единицы поверхности трещины. Такой деформированный объем равен $v_m \cdot x'$ [5], где $v_m$ – объемная доля матрицы (феррита); $x'$ – расстояние между трещинами в матрице;

$$x' = \frac{v_m'}{v_f} \cdot \frac{r\sigma_m{}^*}{2\tau},$$

где $v_f$ – объемная доля прочных волокон (мартенсит); *r* – радиус прочного волокна; $\sigma_m{}^*$ – предел прочности матрицы; $\tau$ – касательное напряжение на границе раздела прочного волокна и матрицы, вызывающее пластическое течение матрицы.

Полная работа разрушения композита пропорциональна $\frac{v^2{}_m \cdot r}{v_f}$, растет с увеличением *r*, а величина $v_f$ должна быть больше $v_{крит}$ [5].

После достаточно длительного периода нечувствительности к надрезу (вместе с первичной трещиной), который для рассматриваемого эксперимента составляет $20 \cdot 10^4$ циклов испытаний, трещина в композите начинает двигаться по фронту. Это происходит за счет работы двух механизмов растрескивания прочных мартенситных волокон. С одной стороны, происходит разрушение волокон из-за создания высоких локальных напряжений на межфазной границе феррит – мартенсит в связи со скоплением дислокаций, пришедших из феррита, в котором деформация начинается в первую очередь, с другой стороны, прочные волокна после расслоения в матрице оказываются изолированными от нее и хрупко разрушаются под действием нормальных напряжений, создаваемых внешним нагружением (в этом случае $\tau$ снижается практически до нуля). Таким образом, трещина движется по фронту с большой скоростью (см.рис. 3,б) до тех пор, пока не достигает на пути своего движения еще непродеформированный объем матрицы. Фронтальный рост трещины при этом останавливается, и далее все повторяется, как описано выше.

**Выводы.** Таким образом, фронтальный рост трещины в композите осуществляется с «остановками», на которых происходит деформация матрицы и ее расслоение в направлении, нормальном к фронту движения трещины, вызывающей разрушение материала в целом. Такой механизм разрушения требует больших затрат энергии (см. рис. 3,а), чем в материале, структура которого не обеспечивает анизотропии величины сопротивления разрушению трещины.

**Библиографический список**

1. Бернштейн М.Л. Прочность стали / М.Л. Бернштейн. – М.: Металлургия, 1974. – 199 с.
2. Лизунов В.И. Композиционные стали / В.И. Лизунов. – М.: Металлургия, 1978. – 151 с.
3. Grange R.A. Fibrous Microstructures Developed in Steel by Termomechanical Processing / R.A. Grange // 2nd Int. Conf. Of Strength of Metals and Alloys, Conf. Proc., 1970. – V. 3. – P. 861–863.

4. Пустовойт В.Н. Способ получения стального композита с дуальной ферритно-мартенситной структурой / В.Н. Пустовойт, В.А. Блиновский, Т.Ю. Матина. – Заявка на изобретения № 97107821 от 23.04.1997 года. Опубл. в БИ, 1999, № 12, с. 221.

5. Келли А. Высокопрочные материалы / А. Келли. – М.: Мир, 1976. – 261 с.

6. Марочник сталей и сплавов / В.Г. Сорокин, А.В. Волосникова, С.А. Вяткин и др.; под общ. ред. В.Г. Сорокина. – М.: Машиностроение, 1989. – 640 с.

7. Гришин С.А. Установка для исследования кинетики развития усталостной трещины / С.А. Гришин // Прогрессивные методы термического упрочнения в тракторном и сельскохозяйственном машиностроении / РИСХМ. – Ростов н/Д, 1982. – С. 15–20.

8. Сорокин В.Л. Применение электропотенциального метода для определения характера развития трещины / В.Л. Сорокин, В.Ф. Змитрук, Г.В. Шербединский // Заводская лаборатория. – 1981. – Т. 47, № 12. – С. 60–62.

9. Miller L.E. Tensile fractures in carbon steels / L.E. Miller, G.S. Smith // Journal of the Iron and Steel Institute. – 1970. – V. 208. – № 11. – P. 998–1005.

10. Пустовойт В.Н. Конструктивная прочность трубных сталей со структурой естественного ферритно-мартенситного композита / В.Н. Пустовойт, В.В. Мульчин, Ю.М. Домбровский // Вестн. Донск. гос. техн. ун-та. – 2008. – Т. 8. – № 3. – С. 348–354.

Материал поступил в редакцию 16.05.11.

**References**

1. Bernshtejn M.L. Prochnost` stali / M.L. Bernshtejn. – M.: Metallurgiya, 1974. – 199 s. – In Russian.

2. Lizunov V.I. Kompozicionny`e stali / V.I. Lizunov. – M.: Metallurgiya, 1978. – 151 s. – In Russian.

3. Grange R.A. Fibrous Microstructures Developed in Steel by Termomechanical Processing / R.A. Grange // 2nd Int. Conf. of Strength of Metals and Alloys, Conf. Proc., 1970. – V. 3. – P. 861–863.

4. Pustovojt V.N. Sposob polucheniya stal`nogo kompozita s dual`noj ferritno-martensitnoj strukturoj / V.N. Pustovojt, V.A. Blinovskij, T.Yu. Matina. – Zayavka na izobreteniya # 97107821 ot 23.04.1997 goda. Opubl. v BI, 1999, # 12, s. 221. – In Russian.

5. Kelli A. Vy`sokoprochny`e materialy` / A. Kelli. – M.: Mir, 1976. – 261 s. – In Russian.

6. Marochnik stalej i splavov / V.G. Sorokin, A.V. Volosnikova, S.A. Vyatkin i dr.; pod obshh. red. V.G. Sorokina. – M.: Mashinostroenie, 1989. – 640 s. – In Russian.

7. Grishin S.A. Ustanovka dlya issledovaniya kinetiki razvitiya ustalostnoj treshhiny` / S.A. Grishin // Progressivny`e metody` termicheskogo uprochneniya v traktornom i sel`skoxozyajstvennom mashinostroenii / RISXM. – Rostov n/D, 1982. – S. 15–20. – In Russian.

8. Sorokin V.L. Primenenie e`lektropotencial`nogo metoda dlya opredeleniya xaraktera razvitiya treshhiny` / V.L. Sorokin, V.F. Zmitruk, G.V. Shherbedinskij // Zavodskaya laboratoriya. – 1981. – T. 47, # 12. – S. 60–62. – In Russian.

9. Miller L.E. Tensile fractures in carbon steels / L.E. Miller, G.S. Smith // Journal of the Iron and Steel Institute. – 1970. – V. 208. – # 11. – P. 998–1005. – In Russian.

10. Pustovojt V.N. Konstruktivnaya prochnost` trubny`x stalej so strukturoj estestvennogo ferritno-martensitnogo kompozita / V.N. Pustovojt, V.V. Mul`chin, Yu.M. Dombrovskij // Vestn. Donsk. gos. texn. un-ta. – 2008. – T. 8. – # 3. – S. 348–354. – In Russian.

## KINETICS AND CRACK GROWTH MECHANISM IN STEEL WITH FERRITE-MARTENSITIC COMPOSITE STRUCTURE

**V.N. PUSTOVOIT, S.A. GRISHIN, M.V. ZAITSEVA**
(Don State Technical University)

*Research results of the crack behavior examination in steels with the ferrite martensitic composite structure are presented. It is shown that the crack propagation rate in these steels is considerably lower than in the same steels with secondary sorbite structure. It is discussed from the perspective of a special mechanism of front crack moving in the composite with tough fibres and plastic matrix.*

***Keywords:*** *natural ferrite martensitic composite, kinetics and crack growth mechanism, crack resistance.*

УДК 613.6:621.43

# МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ОКСИДОВ УГЛЕРОДА И ИЗБЫТКОВ ТЕПЛОТЫ В ГАЗОВОЗДУШНОЙ СРЕДЕ ПОМЕЩЕНИЯ

**Б.Ч. МЕСХИ, Е.И. МАСЛОВ, А.Н. СОЛОВЬЁВ, Ю.И. БУЛЫГИН, Д.А. КОРОНЧИК**
(Донской государственный технический университет)

*Представлены результаты математического и экспериментального моделирования процессов распространения угарного газа и избытков теплоты в воздушной среде гаражного помещения. На основе теоретико-экспериментального метода получены адекватные экспериментальным данным поля подвижности воздуха, концентрации оксидов углерода и температуры внутри исследуемого помещения.*
***Ключевые слова:*** *загазованность, избытки теплоты, концентрация, температура, вентиляция.*

**Введение.** Снижение эмиссии вредных веществ (ВВ) в рабочую зону операторов участков обкатки машиностроительных предприятий является актуальной задачей [1]. С другой стороны, выбросы при горячей обкатке машин «тёплые», что приводит к образованию в загазованной рабочей зоне областей с неудовлетворительными параметрами микроклимата. В результате формируется целый комплекс опасных и вредных производственных факторов (ОВПФ), таких как загазованность, повышенная подвижность воздуха и температура. Каждый из ОВПФ необходимо учитывать, так как они оказывают определённое влияние друг на друга, что в конечном итоге сказывается на точности моделирования.

**Постановка задачи.** Математическое моделирование процессов распространения вредных веществ в воздушной среде вентилируемых помещений связано с рядом трудностей.

Во-первых, результаты физического моделирования исследуемых процессов позволяют уточнить как сами модельные уравнения, так и их начальные и граничные условия.

Во-вторых, доминирующее влияние на формирование полей загазованности, подвижности воздуха и температуры оказывают коэффициенты турбулентной диффузии (обмена) и теплопроводности газовой смеси в помещении, входящие в систему дифференциальных уравнений. В системе используются дифференциальные уравнения, описывающие процессы конвективно-диффузионного тепломассопереноса, введенные в работах М.Я. Берлянда [2], Г.И. Марчука [3], С.В. Патанкара [4].

Поэтому вполне обоснованной выглядит поставленная в работе задача – исследовать поведение математической модели, описывающей распространение угарного газа и избытков теплоты в воздушной среде заранее выбранного модельного объекта с простой геометрической формой и известным внутри стационарным источником загрязнений.

В качестве такого объекта – газовой камеры – был выбран типовой металлический гараж. Источником загрязнений являлся автомобиль ВАЗ 2104, отработанные газы от которого были отведены в центр гаражного помещения.

**Математическая модель тепломассопереноса вредных веществ и избытков явной теплоты.**

*Система уравнений в общем виде*

$$\begin{cases} \frac{\partial C_i}{\partial t} + \frac{\partial (u \cdot C_i)}{\partial x} + \frac{\partial (v \cdot C_i)}{\partial y} + \frac{\partial ((w + w_s) \cdot C_i)}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \cdot \left( (A_{\Pi x} + D_x) \cdot \frac{\partial C_i}{\partial x} \right) + \\ + \frac{\partial}{\partial y} \cdot \left( (A_{\Pi y} + D_y) \cdot \frac{\partial C_i}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \cdot \left( (A_{\Pi z} + D_z) \cdot \frac{\partial C_i}{\partial z} \right) + \sum Q_i^j(t) \cdot \delta(r - r_j); \quad (1) \\ u = \frac{\partial P}{\partial x}, \nu = \frac{\partial P}{\partial y}, w = \frac{\partial P}{\partial z} \\ \frac{\partial^2 P}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 P}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 P}{\partial z^2} = 0, \quad (2) \\ \rho \cdot C_p \left( \frac{\partial T}{\partial t} + \frac{\partial (u \cdot T)}{\partial x} + \frac{\partial (v \cdot T)}{\partial y} + \frac{\partial ((w + w_S) \cdot T)}{\partial z} \right) = \frac{\partial}{\partial x} \cdot \left( (\lambda + \lambda_t + \lambda_p) \cdot \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \\ + \frac{\partial}{\partial y} \cdot \left( (\lambda + \lambda_t + \lambda_p) \cdot \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \cdot \left( (\lambda + \lambda_t + \lambda_p) \cdot \frac{\partial T}{\partial z} \right) + \sum Q_{Vi}{}^j(t) \cdot \delta(r - r_j), \quad (3) \end{cases}$$

где

$$\lambda_t = \frac{C_p \cdot \rho \cdot P_{rd} \cdot A_\Pi}{P_{rt}}, \quad (4)$$

$C_i$ – концентрация $i$-го ВВ в помещении, мг/м$^3$; $t$ – текущее время, с; $u$, $v$, $w$ – компоненты вектора скорости воздушной среды, м/с; $w_s$ – скорость оседания/подъёма примеси/газов; $A_\Pi = (A_X, A_Y, A_Z)$ – коэффициенты турбулентной диффузии в помещении, м$^2$/с; $D = (D_X, D_Y, D_Z)$ – коэффициенты диффузии $i$-го газа, м$^2$/с; $Q_i^j(t)$ – интенсивность выброса $i$-го вредного вещества от $j$-го источника в помещении, кг/с; $\delta(r - r_i)$ – дельта-функция Дирака; $r_j = (x_j, y_j, z_j)$ – координаты источника выброса, м; $\rho$ – плотность газовой смеси, кг/м$^3$; $C_p$ – удельная изобарная теплоемкость, Дж/(кг · К); $\lambda$ – коэффициент теплопроводности $i$-го газа, Вт/(м·К); $\lambda_t$ – коэффициент турбулентной теплопроводности, Вт/(м·К); $\lambda_p$ – коэффициент радиационной теплопроводности, Вт/(м·К); $Q_{Vi}^j$ – интенсивность внутренних источников тепла, Вт; $P_{rd}$ – диффузионное число Прандтля, $P_{rt}$ – турбулентное число Прандтля.

*Граничные условия для уравнения (1):*

- на боковых стенках:

$$\frac{\partial C}{\partial n} = 0; \quad (5)$$

в последнем равенстве указывается, что стенки помещения, в котором проводятся исследования, являются непроницаемыми для концентрации загрязняющего вещества;

- на входной и выходной границе:

$$\frac{\partial C}{\partial n} = -\frac{q}{A_\Pi} \cdot C, \quad (6)$$

где $q=\begin{cases}\upsilon_n, \upsilon_n \ge 0\\ 0, \upsilon_n < 0.\end{cases}$, это означает, что поток примеси зависит от её концентрации, скорости $\upsilon_n$ и направления воздушного потока, индуцированного работой вентиляции.

*Граничные условия для уравнения (2):*

- на твердых стенках

$$\frac{\partial P}{\partial n}=0, \tag{7}$$

где *n* – единичный вектор внешней нормали. Это означает, что стенки исследуемого помещения являются непроницаемыми для воздушных потоков;

- на выходной границе

$$\frac{\partial P}{\partial n}=\upsilon_n, \tag{8}$$

где $\upsilon_n$ – известное значение скорости;

- на входной границе (границе втекания воздушного потока в помещение)

$$P=const \tag{9}$$

(условие Дирихле).

*Граничные условия для уравнения (3):*

начальные условия заключаются в задании распределения поля значений температуры в начальный момент времени ($t = t_0$), т. е. предшествующий расчетному. Они должны быть заданы в виде функции

$$T_{t_0}=f(x,y,z) \text{ –} \tag{10}$$

для пространственной задачи;

- на боковых стенках

$$\frac{\partial T}{\partial n}=-\frac{a}{\lambda_t}\cdot\left(T_n-T_c\right), \tag{11}$$

данное уравнение обозначает, что со стенками помещения ведется теплообмен. Здесь должны быть заданы коэффициент теплоотдачи *a* и температура окружающей тело среды $T_c$;

- на входной границе (границе втекания воздушного потока в помещение)

$$T=const \text{ –} \tag{12}$$

известное и постоянное значение температуры втекаемого в помещение потока воздуха;

- на выходной границе $\frac{\partial T}{\partial n}=-\frac{\upsilon_n}{\lambda_t}\cdot\left(T_n\right)$, что означает, что поток температуры примеси зависит от её температуры, скорости $\upsilon_n$ и направления воздушного потока, индуцированного работой вентиляции.

В ходе экспериментальных работ граничные условия уточняются.

*Коэффициенты турбулентного обмена* $A_\Pi$. При турбулентном течении потока и турбулентном переносе коэффициенты $A_\Pi$ пропорциональны диссипируемой энергии и определяющему размеру рассматриваемого источника. Для вентилируемых помещений, зная величину энергии, поступающей в помещение, и определяющий размер источника, можно определить коэффициент турбулентного обмена в плоскости (x, y), м$^2$/с:

$$A_X=A_Y=0,25\cdot\varepsilon^{1/3}\cdot l_\Pi^{4/3}, \tag{13}$$

где $\varepsilon$ – кинетическая энергия воздушных потоков в помещении; $l_\Pi$ – определяющий размер помещения, равный для прямоугольных отверстий и сечений неправильной формы

$$l_П = \sqrt{F} \text{, м,} \tag{14}$$

где $F$ – площадь сечения помещения, перпендикулярная направлению движения воздушных потоков.

Коэффициент турбулентного обмена по высоте помещения находится из зависимости, предложенной М. Я. Берляндом для наибольших классов устойчивости воздушной среды:

$$A_{ПZ} = A_{Z=1} \cdot (z/z_1) , \tag{15}$$

что допустимо для исследуемого помещения. Здесь $A_{z=1}$ – коэффициент турбулентного обмена на высоте 1 м, $z_1$ = 1 м, $z$ – текущая высота помещения, м.

Кинетическая энергия воздушных потоков в помещении $\varepsilon$ определяется из формулы

$$\varepsilon = \varepsilon_{ПС} + \varepsilon_{ТС} + \varepsilon_{ДП} - \varepsilon_{ВС} , \tag{16}$$

куда входят соответственно энергии приточных струй $\varepsilon_{ПС}$, тепловых струй $\varepsilon_{ТС}$, движущихся предметов $\varepsilon_{ДП}$ и вытяжных струй $\varepsilon_{ВС}$. Величины $\varepsilon_{ПС}$, $\varepsilon_{ТС}$, $\varepsilon_{ДП}$ учитываются в модели рассеивания ВВ и находятся из формул:

$$\varepsilon_{ПС} = \frac{L}{V_П} \cdot \frac{\xi \cdot \nu^2}{2} ; \tag{17}$$

$$\varepsilon_{ТС} = \frac{g \cdot \bar{Q} \cdot z}{C_p \cdot T_0 \cdot \rho_в} \cdot \frac{1+n}{4} ; \tag{18}$$

$$\varepsilon_{ДП} = \left[ \frac{\xi \cdot F_n \cdot \nu_n^3 \cdot \rho}{2 \cdot G_n} \right] \cdot \left[ \frac{\tau}{3600} \right], \tag{19}$$

где $L/V_П$ – кратность воздухообмена в помещении свободным объёмом $V_П$; $v$ – средняя скорость выхода воздуха из приточных отверстий, м/с; $\xi$ – коэффициент местного сопротивления на выходе из воздухораспределителей; $\bar{Q}$ – теплонапряжённость объема, Вт/м$^3$; $g$ = 9,8 м/с$^2$; $z$ – расстояние от полюса до рассматриваемой точки, м; $n$ = 0,8 – экспериментальная константа; $C_p$ – теплоемкость воздуха на удалении от источника, ; $T_0$ – температура воздуха в помещении на удалении от источника; $\rho_в$ – плотность воздуха на удалении от источника, $\xi$ – коэффициент аэродинамического сопротивления движущегося предмета; $F_n$ – площадь поперечного сечения движущегося предмета; $\nu_n$ – скорость движущегося предмета; $\tau$ – средняя продолжительность движения предмета с данной скоростью в течение 1 ч; $G_n$ – масса воздуха в объеме помещения;

так как $G_n = V \cdot \rho$, где $V$ – объем помещения, то:

$$\varepsilon_{ДП} = \left[ \frac{\xi \cdot F_n \cdot \nu_n^3}{2 \cdot V} \right] \cdot \left[ \frac{\tau}{3600} \right]. \tag{20}$$

*Характеристика источника выделения вредностей*

В уравнение (1) входит $Q_i^j(t)$ – интенсивность выброса $i$-го вредного вещества от $j$-го источника. В нашем случае источник загрязнения – это двигатель автомобиля ВАЗ 2104, который работает на холостом ходу. При этом с отработанными газами через шланговый отсос в воздух гаража поступают токсичные компоненты. Как показано в работе [5], одним из основных токсич-

ных компонентов, который учитывается при расчёте потребных воздухообменов на вентиляцию, является оксид углерода.

Для определения его массового выброса необходимо экспериментально определить концентрацию СО в отработавших газах (ОГ) источника и измерить расход отработавших газов автомобиля. Для одиночного стационарного источника функция $Q_i(t)$ может быть определена по формуле

$$Q_i(t) = \frac{C_{iД} \cdot Q_{ОГ ср Д}}{3600}, \quad г/с, \tag{21}$$

где $C_{iД}$ – концентрация ВВ в ОГ от $i$-го источника загрязнения, г/м$^3$; $Q_{ОГ ср Д}$ – расход отработавших газов двигателя автомобиля на холостом ходу, м$^3$/с.

Явное теплопоступление в исследуемое помещение учитывается выражением

$$Q_Я = C^{xx}_{\rho ОГ} \cdot Q^{xx}_{ОГ} \cdot \left(T^{xx}_{ОГ} - T_0\right) \cdot A_Д, \text{ кВт}, \tag{22}$$

где $C^{XX}_{\rho ОГ}$ – изобарная теплоемкость ОГ на режиме холостого хода, Дж/кг · К; $T^{XX}_{ОГ}$ – температура ОГ на холостом ходу, К; $T_0$ – температура газовоздушной среды в помещении, К; $A_Д$ – количество источников.

**Экспериментальные исследования.** С целью обоснования адекватности разработанной математической модели распространения угарного газа, избытков теплоты и подвижности воздуха внутри заранее выбранного модельного объекта с простой геометрической формой и известным стационарным источником загрязнения были проведены экспериментальные исследования.

Одновременно в заданные моменты времени замерялись концентрации угарного газа, температура газовоздушной смеси и скорость движения воздуха непосредственно в разных точках объёма исследуемой газовой камеры. Для оценки пространственного распределения вредных веществ по помещению применялся стационарный метод отбора проб (функции устройств для отбора и оперативного анализа проб выполняли электрохимические датчики газового анализа, которые с прибором размещались в фиксированных точках помещения).

Натурные исследования процессов проводились в гаражном помещении стандартных размеров (длина – 6,40 м, ширина – 3,30 м, высота – 2,30 м), схема которого (вид сверху) представлена на рис. 1.

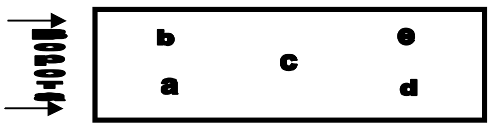



Рис. 1. Схема размещения измерительных точек в гаражном помещении

Измерения концентраций и температур газовоздушной среды за разные промежутки времени проводились в пяти заданных точках камеры, где указаны их геометрические координаты: «**a**» (1.10,1.10,1.5), «**b**» (1.10,2.20,1.5), «**c**» (3.20,1.65,1.5), **«d»** (5.20,1.10,1.5), **«e»** (5.20,2.20,1.5). Геометрические параметры источника загрязнения соответствуют координатам точки «**c» –** центр помещения (см. рис. 1).

Согласно разработанной «Программе испытаний», замеры концентраций угарного газа в воздухе газовой камеры осуществлялись на высоте 1,5 м в характерных точках, представленных на схеме исследуемого объекта (см. рис. 1).

Измерения концентраций угарного газа в воздухе газовой камеры проводились в холодный период года (ноябрь) в течение часа по следующему графику (табл. 1).

Таблица 1

Последовательность взятия проб в течение часа

| № п/п | Номер пробы на газовый анализ | Время, прошедшее с начала эксперимента, с |
|---|---|---|
| 1 | I | 0 |
| 2 | II | 175 |
| 3 | III | 325 |
| 4 | VI | 475 |
| 5 | V | 625 |
| 6 | VI | 1260 |
| 7 | VII | 2100 |
| 8 | VIII | 2700 |
| 9 | IX | 3300 |
| 10 | X | 3600 |

Для полноты исследования физической картины образования и распространения температурных полей и полей концентраций ВВ в камере испытания проводились для трёх характерных случаев: 1) закрытые ворота (вентиляционные отверстия заклеены); 2) открыта одна створка ворот; 3) ворота приоткрыты (щель размером 0,47 м).

*Приборное оснащение эксперимента. Результаты измерений*

Для измерения концентраций ВВ применялся газоанализатор Dräger X-am 5000 (Германия): метод измерения – электрохимический; диапазон показаний – CO: 0–2000 ppm, NO2: 0–50 ppm, SO2: 0–50 ppm (ppm – мг/м$^3$); предел допускаемой основной погрешности – 5%.

Микроклиматические условия в помещении (температура и подвижность воздуха) измерялись согласно схеме, представленной на рис. 1, на высоте 1,5 м. Для измерений скорости движения воздушных потоков и температуры газовоздушной среды использовался высокоточный дифференциальный манометр Testo 521. Он имеет внутренний сенсор с измерительным диапазоном от 0,1 до 100 ГПа и является прибором для измерений скорости потока от 0,1 до 100 м/с. Применяется совместно с трубкой Пито. Модель Testo 521-1 со встроенным сенсором давления имеет погрешность 0,2% от полной шкалы, а модель Testo 521-2 со встроенным сенсором давления имеет погрешность 0,1% от полной шкалы (рис. 2).

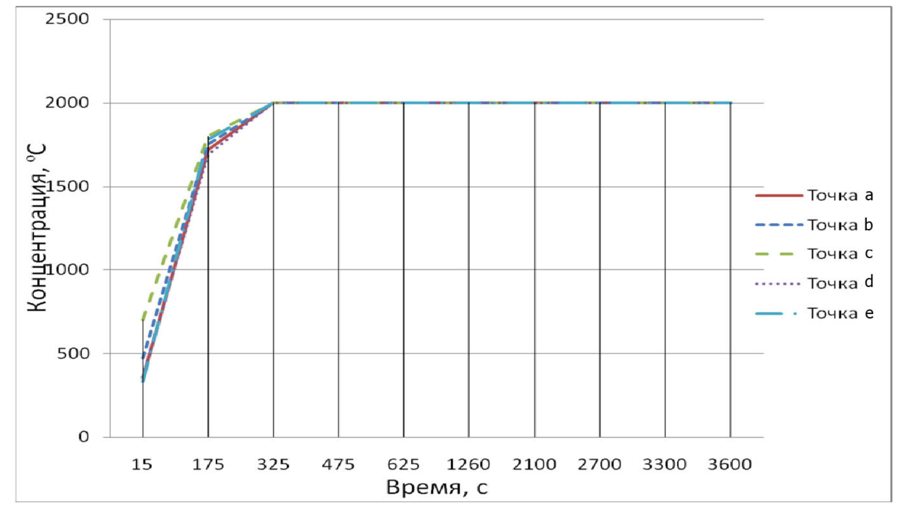



Рис. 2. Динамика изменения концентраций CO в газовой камере (точки а-е см. рис. 1)

Измерения температуры производились в холодный период года внутри помещения на высоте 1,5 м. Использовались ртутные термометры с точностью измерений до 0,1 °С. Зависимости температуры газовоздушной смеси в камере в заданных измерительных точках представлены на рис. 3.

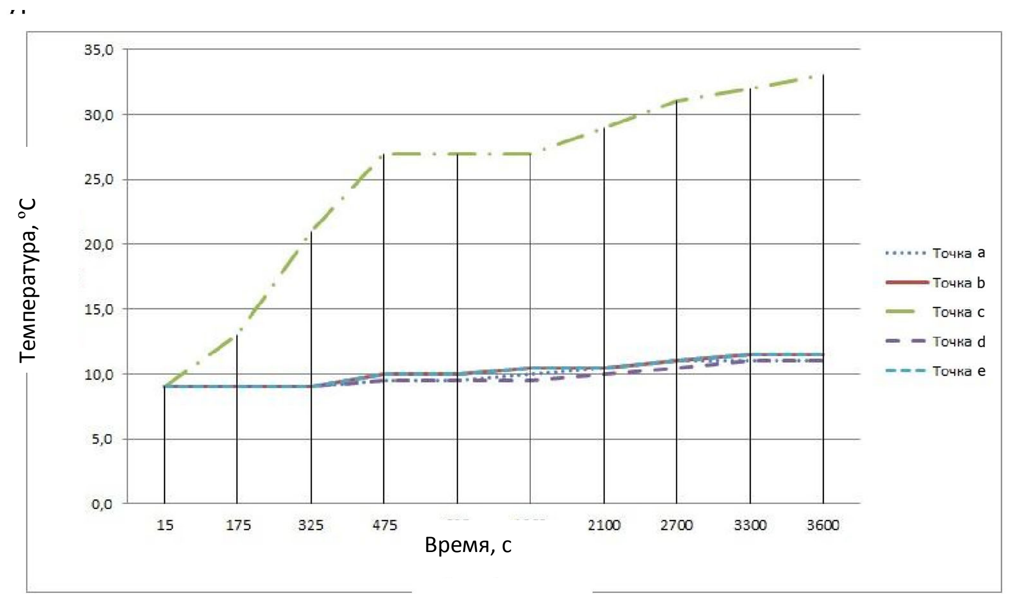



Рис. 3. Динамика изменения температуры газовоздушной среды в камере (точки a-e см. рис. 1)

*Экспериментальное определение характеристик источника загрязнений*

Массовый выброс СО от источника загрязнений $Q_{CO}(t)$ определялся экспериментально. Для проведения измерений использовался 4-компонентный газоанализатор CO-CH-CO2-O2 "АВТОТЕСТ-01.03-М" с вычислением коэффициента избытка воздуха λ. Краткие технические характеристики анализатора газа АВТОТЕСТ 01.03 М: диапазон измерения содержания оксида углерода СО 0–7 об. %, абсолютная погрешность ± 0,2%, относительная погрешность ± 6%.

*Экспериментальное определение коэффициентов турбулентного обмена*

Как следует из выражения (13), определяющее влияние на коэффициенты турбулентного обмена кроме геометрических размеров помещения оказывает кинетическая энергия газовоздушных потоков в помещении. Точное определение данных коэффициентов невозможно, так как в формулы (17) – (19) входят трудноопределимые экспериментально величины: кратность вентиляции помещения; коэффициент аэродинамического сопротивления и ряд других. Поэтому в задачи экспериментальных исследований входила возможность оценки вышеприведённых величин.

Для корректного определения энергии приточных струй (17) в газовой камере были проведены экспериментальные работы по определению кратности вентиляции помещения гаража для двух исследуемых случаев: 1) открыта одна створка ворот; 2) ворота приоткрыты (щель размером 0,47 м). С этой целью вначале создавалась максимальная загазованность в помещении, а затем контролировалось время "спада" концентрации СО до фоновых значений. Параллельно измерялась скорость вытекания газовоздушной смеси из камеры. Зная площади поперечных сечений отверстий вытекания газов $S$ (2,56 м$^2$ и 1 м$^2$), определяли потребный воздухообмен и кратность вентиляции (табл. 2).

Таблица 2

Потребный воздухообмен и кратность вентиляции

| Исследуемый случай | Время проветривания, $\tau_{пр}$, ч | Скорость вытекания газов из камеры, $\upsilon_d$, м/с (м/ч) | Потребный воздухообмен камеры, $L_{потр} = \tau_{пр} \cdot S \cdot \upsilon_d$, м$^3$/ч | Кратность воздухообмена, $k = \frac{L_{потр}}{V_П}, ч^{-1}$ |
|---|---|---|---|---|
| Одна створка открыта | 0,37 | 1 (3600) | 3410 | 75 |
| Щель размером 0,47 м | 0,52 | 1,5 (5400) | 2700 | 58 |

Затем по формулам (14) – (19) были рассчитаны энергии приточных и тепловых струй с учётом определяющих размеров помещения для каждого из случаев (табл. 3).

Таблица 3

Энергии приточных и тепловых струй

| Исследуемый случай | Энергия приточных струй, $\varepsilon_{ПС}$, м$^2$/с$^3$ | Энергия тепловых струй, $\varepsilon_{ТС}$, м$^2$/с$^3$ | Суммарная энергия в камере $\varepsilon$, м$^2$/с$^3$ | Определяющий размер помещения, $l = \sqrt{F}$, м |
|---|---|---|---|---|
| Одна створка открыта | 0,75 | 0,000227 | 0,750227 | 1,6 |
| Щель размером 0,47 м | 0,58 | 0,000227 | 0,580227 | 1,0 |

Наконец, в соответствии с формулами (4), (13) и (15) определили значения коэффициентов турбулентной диффузии и турбулентной теплопроводности в помещении для исследуемого угарного газа для трёх изучаемых случаев. Результаты расчётов сведены в табл. 4.

Таблица 4

Коэффициенты турбулентной диффузии и теплопроводности

| Исследуемый случай (вариант расчёта) | Коэффициенты турбулентной диффузии помещения камеры, м$^2$/с | | Коэффициенты турбулентной теплопроводности помещения камеры, Вт/м·К | | Коэффициент турбулентной диффузии газа, м$^2$/с | Коэффициент турбулентной теплопроводности газа, Вт/м·К |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | $A_{ПX} = A_{ПY}$ | $A_{ПZ}$ | $\lambda_{tX} = \lambda_{tY}$ | $\lambda_{tZ}$ | $D_{CO}$ | $\lambda_{tCO}$ |
| Закрытые ворота | 0 | 0 | 0 | 0 | $15,2 \cdot 10^{-6}$ | $26,2 \cdot 10^{-3}$ |
| Открыта одна створка ворот | 0,42 | $A_{ПZ=1,5} = 0,3$ | 504 | $\lambda_{tZ=1,5} = 360$ | $15,2 \cdot 10^{-6}$ | $26,2 \cdot 10^{-3}$ |
| Щель размером 0,47 м | 0,2085 | $A_{ПZ=1,5} = 0,3$ | 240 | $\lambda_{tZ=1,5} = 360$ | $15,2 \cdot 10^{-6}$ | $26,2 \cdot 10^{-3}$ |

Коэффициенты турбулентной диффузии угарного газа $D_{co}$ рассчитаны по формуле [6]:

$$D = \frac{4,3 \cdot 10^{-7} \cdot T^{3/2}}{p \cdot (\nu_A^{1/3} + \nu_B^{1/3})^2} \cdot \sqrt{\frac{1}{M_A} + \frac{1}{M_B}}, \qquad (23)$$

где $M_A$, $M_B$ – молярные массы СО и воздуха соответственно, г/моль; $\nu_A$, $\nu_B$ – мольные объёмы СО и воздуха, см$^3$; $p$ – давление газовоздушной смеси, Па; $T$ – абсолютная температура газовоздушной смеси, К.

**Результаты модельных расчётов и сравнение их с экспериментальными данными.** В связи с тем, что на практике в различных помещениях всегда работает общеобменная или активная вентиляция, то случай 1 (закрытые ворота – вентиляционные отверстия заклеены) является наиболее подходящим для теоритических исследований процессов диффузии газа, без учета вентиляционных потоков. Данный случай помогает выяснить влияние газов на диффузионную составляющую уравнений системы, описывающей процесс тепломассопереноса, поэтому было принято решение подробнее рассмотреть данный вариант исследования.

Результаты модельных расчётов концентраций и температур газовоздушной среды внутри гаражного помещения для первого случая – закрытые ворота (вентиляционные отверстия заклеены) – представлены на рис. 4–7.

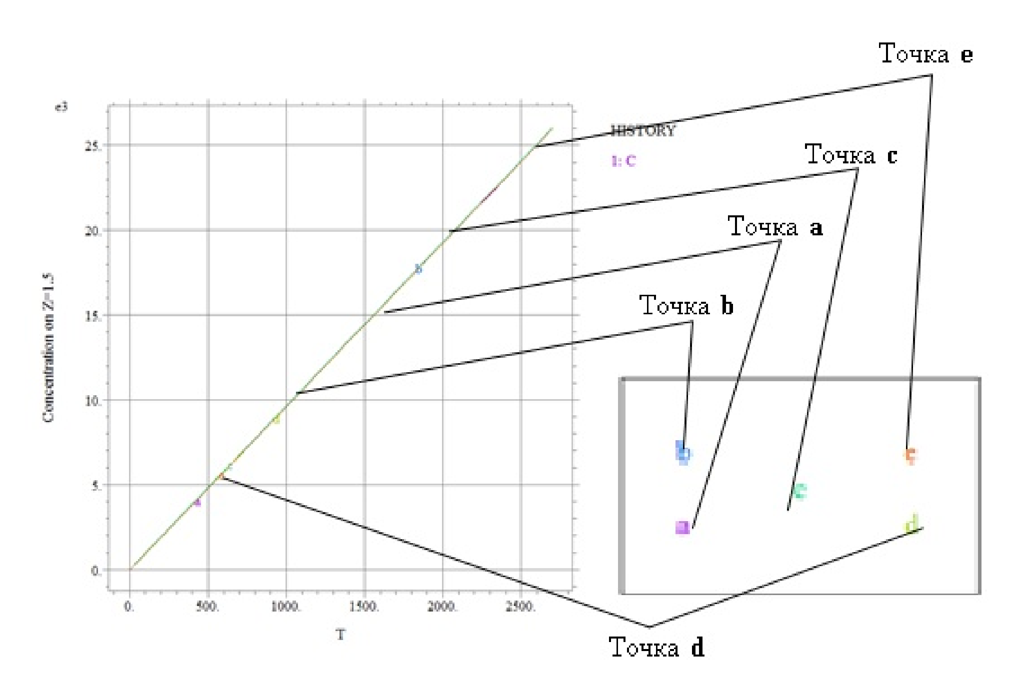



Рис. 4. Динамика изменения концентраций СО в газовой камере (точки а-е см. рис. 1)

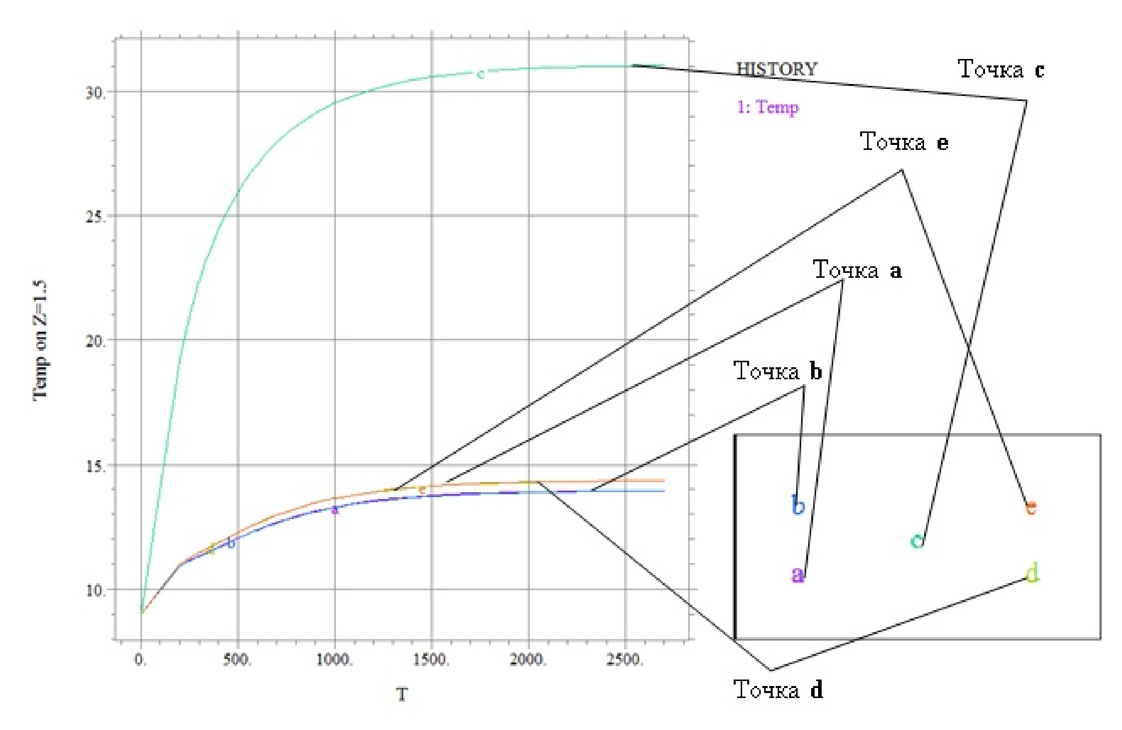



Рис. 5. Динамика изменения температуры газовоздушной среды в камере (точки а-е см. рис. 1)

Как следует из графиков зависимостей (см. рис. 4, 5), процесс роста температуры в замкнутом объёме в значительной степени инерционный по сравнению с быстрым ростом концентрации угарного газа.

Также следует отметить, что концентрации ВВ быстро выравниваются по величине в разных частях исследуемого помещения (см. рис. 4), в отличие от температур газовоздушной смеси,

где имеет место значительное расхождение между параметрами источника (точка «с» – максимальная температура) и другими расчётными точками (см. рис. 5). Очевидно, что последнее обстоятельство связано со сложными процессами теплообмена газовой камеры с окружающей средой.

Картина сформированных полей концентраций ВВ и температур газовоздушной среды исследуемого помещения в вертикальном «срезе» на момент времени 2700 *с* представлена на рис. 6, 7. Как видно из результатов модельных расчётов, по высоте помещения имеет место чёткое расслоение концентраций СО, причём их максимум приходится в центре помещения у потолка. Тёплый угарный газ поднимается вверх, скапливаясь у потолка. В результате концентрации отличаются у пола и потолка в 2 раза. Несколько иное расслоение имеет место по температурам в помещении. Картина имеет симметричную форму, влияние на которую оказывает теплообмен с окружающей камеру средой. Необходимо отметить, что исследования проводились в «холодный» период года и разница температур ОГ и атмосферного воздуха составляла около 40–50 °С.

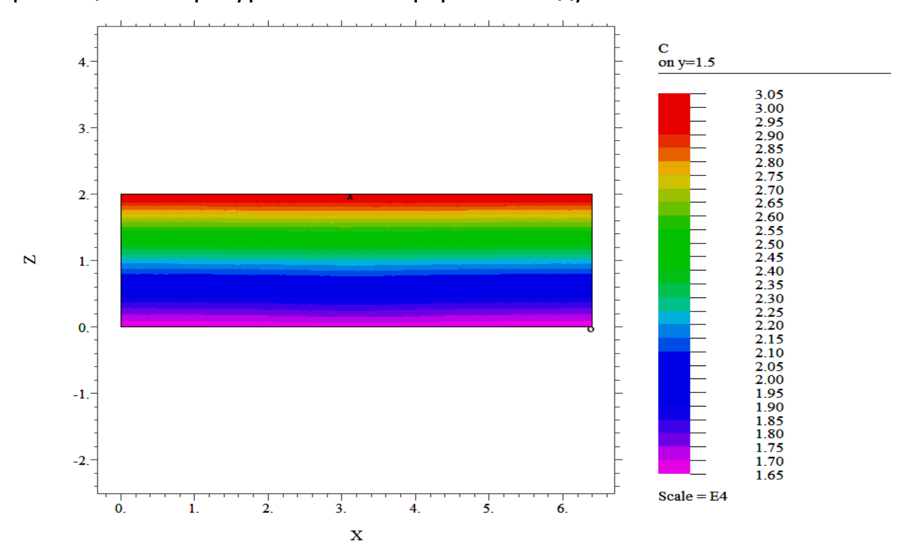



Рис. 6. Поле концентраций СО в газовой камере на высоте 1,5 м от пола
(точки а-е см. рис. 1)

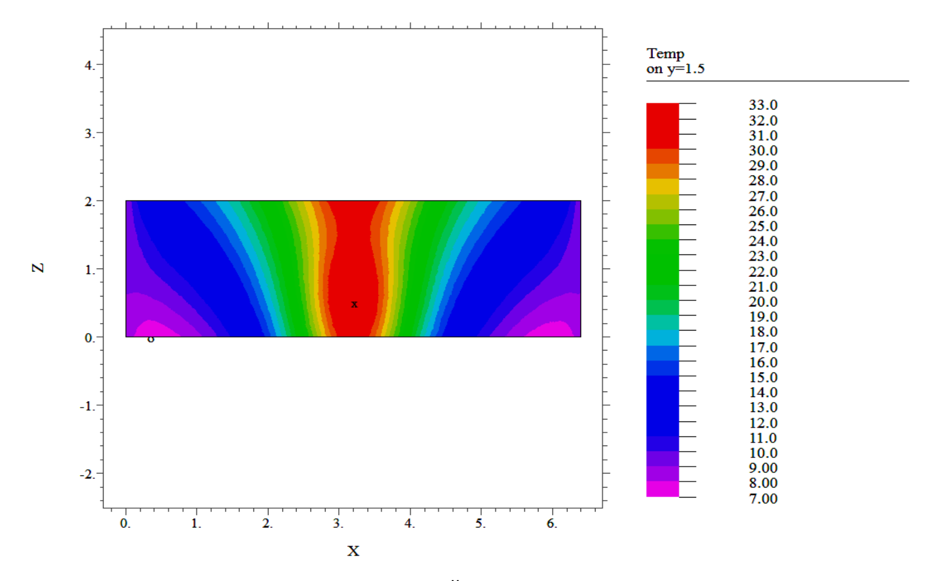



Рис. 7. Поле температур газовоздушной среды в камере на высоте 1,5 м от пола
(точки а-е см. рис. 1)

Наконец, на рис. 8, 9 даны графики изменения концентраций и температур внутри закрытого помещения камеры во времени, полученные как экспериментально, так и в результате расчёта по разработанной математической модели.

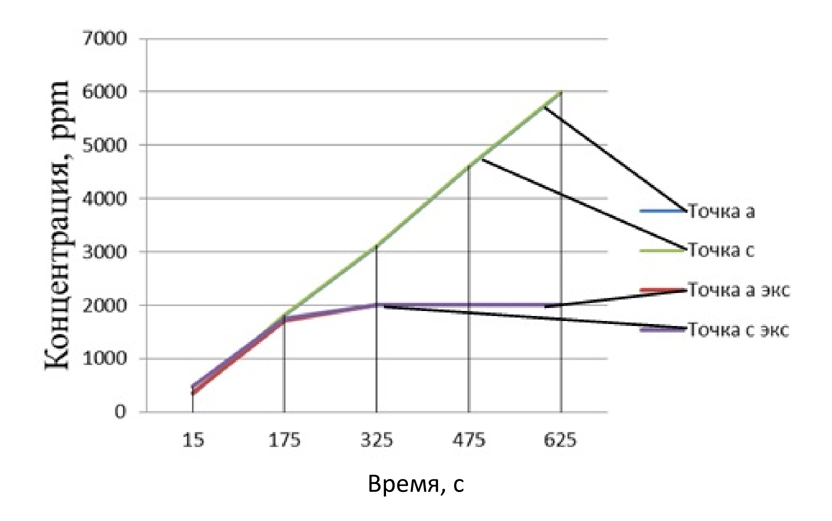



Рис. 8. Сравнение теоретически рассчитанных концентраций СО в газовоздушной среде камеры по модели с экспериментальными данными (точки а, с см. рис. 1). Случай – ворота закрыты

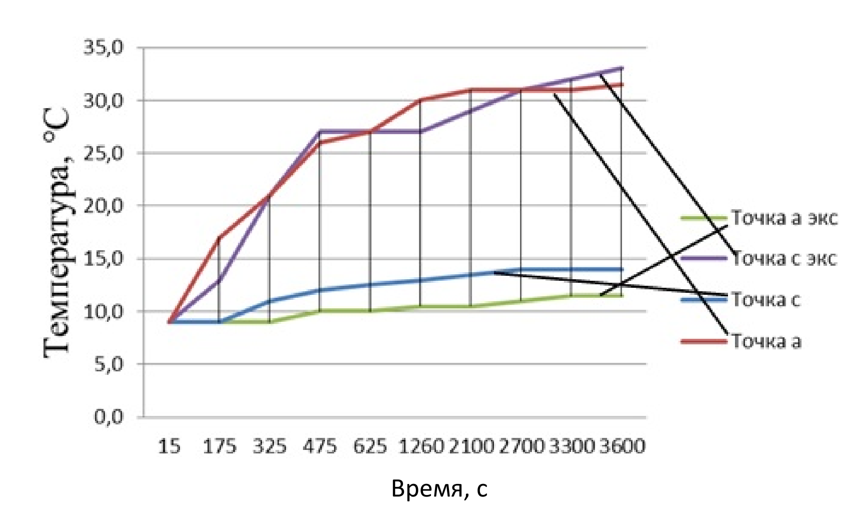



Рис. 9. Сравнение теоретически рассчитанных температур газовоздушной среды камеры по модели с экспериментальными данными (точки а, с см. рис. 1). Случай – ворота закрыты

Как видно из рис. 8, отклонение экспериментальных данных от расчётных концентраций СО в воздушной среде исследуемой камеры составляет не более 2–3%, что соответствует пределу допускаемой основной погрешности измерительной аппаратуры – 5% в интервале времени 0–175 *с*. Дальнейшее расхождение расчётных и экспериментальных зависимостей в интервале 175–625 *с* связано с тем, что газоанализатор Dräger X-am 5000 имеет ограниченный предел измерений по СО до 2000 ppm и не позволяет определить дальнейшее возрастание концентраций.

На рис. 9 представлены графики динамики изменения температуры газовоздушной среды исследуемой камеры в течение часа, полученные как в результате численного моделирования, так и при проведении натурного эксперимента. Сравнение произведено для двух характерных точек помещения.

Как следует из рис. 9, отклонение экспериментальных данных от расчётных температур газовоздушной среды камеры составляет не более 2–3 °С, что является вполне допустимым для моделирования таких достаточно сложных явлений тепломассопереноса веществ в замкнутом пространстве.

**Выводы.**

1. Разработана математическая модель процессов распространения газообразного вещества и избытков теплоты в воздушной среде гаражного помещения.

2. Доказана адекватность представленной математической модели путём сравнения результатов численных расчётов искомых параметров внутри исследуемого помещения с параметрами, определёнными экспериментально на основе построенной физической модели.

3. Показана возможность применения разработанной модели при исследовании загазованности производственных помещений и для определения параметров микроклимата в рабочих зонах.

**Библиографический список**

1. Математическая модель процессов распространения вредных веществ и избытков явной теплоты в производственных помещениях / Б.Ч. Месхи [и др.] // Вестн. Донск. гос. техн. ун-та. – 2010. – Т. 10. – С. 1031–1038.

2. Берлянд М.Я. Прогноз и регулирование загрязнения атмосферы / М.Я. Берлянд. – Л.: Гидрометеоиздат, 1985. – 272 с.

3. Марчук Г.И. Математическое моделирование в проблеме окружающей среды / Г.И. Марчук. – М.: Наука, 1982. – 320 с.

4. Патанкар С.В. Численные методы решения задач теплообмена и динамики жидкости / С.В. Патанкар. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 149 с.

5. Моделирование процессов переноса и ассимиляции вредных веществ в загазованном помещении участка обкатки / Л.Н. Алексеенко [и др.] // Вестн. Донск. гос. техн. ун-та. – 2009. – Спецвыпуск. Технические науки. Ч. I. – С. 56–69.

6. Конечно-элементное моделирование активной вентиляции загрязненных помещений / Л.Н. Алексеенко [и др.] // V Всероссийская школа-семинар. Математическое моделирование и биомеханика в современном университете, 1–5 июня 2009 г. – С. 9.

Материал поступил в редакцию 10.05.11.

**References**

1. Matematicheskaya model` processov rasprostraneniya vredny`x veshhestv i izby`tkov yavnoj teploty` v proizvodstvenny`x pomeshheniyax / B.Ch. Mesxi [i dr.] // Vestn. Donsk. gos. texn. un-ta. – 2010. – T. 10. – S. 1031–1038. – In Russian.

2. Berlyand M.Ya. Prognoz i regulirovanie zagryazneniya atmosfery` / M.Ya. Berlyand. – L.: Gidrometeoizdat, 1985. – 272 s. – In Russian.

3. Marchuk G.I. Matematicheskoe modelirovanie v probleme okruzhayushhej sredy` / G.I. Marchuk. – M.: Nauka, 1982. – 320 s. – In Russian.

4. Patankar S.V. Chislenny`e metody` resheniya zadach teploobmena i dinamiki zhidkosti / S.V. Patankar. – M.: E`nergoatomizdat, 1984. – 149 s. – In Russian.

5. Modelirovanie processov perenosa i assimilyacii vredny`x veshhestv v zagazovannom pomeshhenii uchastka obkatki / L.N. Alekseenko [i dr.] // Vestn. Donsk. gos. texn. un-ta. – 2009. – Speczvy`pusk. Texnicheskie nauki. Ch. I. – S. 56–69. – In Russian.

6. Konechno-e`lementnoe modelirovanie aktivnoj ventilyacii zagryaznyonny`x pomeshhenij / L.N. Alekseenko [i dr.] // V Vserossijskaya shkola-seminar. Matematicheskoe modelirovanie i biomexanika v sovremennom universitete, 1–5 iyunya 2009 g. – S. 9. – In Russian.

## MATHEMATICAL AND EXPERIMENTAL SIMULATION OF CARBON OXIDES AND EXCESS HEAT PROPAGATION IN GAS-AIR INDOOR ENVIRONMENT

**B.C. MESKHI, E.I. MASLOV, A.N. SOLOVYEV, Y.I. BULYGIN, D.A. KORONCHIK**
(Don State Technical University)

*Results of the mathematical and experimental simulation of the distribution of carbon monoxide and excess heat in the air of the garage premises are presented. Fields of air movement, carbon oxide concentration and temperature indoor comparable to the experimental data have been obtained on the ground of the theoretical and experimental method.*
***Keywords:*** *air pollution, excess heat, concentration, temperature, ventilation.*

УДК 658.012.011:656.2.001.57+06

# МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СЕТЕВОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМ НА ТРАНСПОРТЕ В УСЛОВИЯХ ПРЕДЕЛЬНЫХ НАГРУЗОК*

**М.А. БУТАКОВА, А.Н. ГУДА, С.В. ЧУБЕЙКО**
(Ростовский государственный университет путей сообщения)

*Рассмотрены вопросы оценки качества функционирования сетевого программного обеспечения, представляемого в виде системы, функционирующей в условиях возникновения предельных информационных нагрузок. Предложен функционал пиковости информационных нагрузок, позволяющий выполнять моделирование и числовую оценку соотношения вариативности поступающей и обрабатываемой сетевым программным обеспечением информации.*
***Ключевые слова:*** *качество функционирования, программное обеспечение, телекоммуникационный трафик, пиковые факторы.*

**Введение.** Программируемые информационно-управляющие системы (ИУС) на железнодорожном транспорте задействованы в ответственном технологическом процессе доставки пассажиров и грузов. Несмотря на то, что большинство из ИУС на транспорте предназначены для организации электронного документооборота, продажи билетов и обработки финансово-экономической информации, существуют системы, которые непосредственно участвуют в управлении движением поездов. К ним относятся, например, микропроцессорные горочные комплексы, средства микропроцессорной диспетчерской централизации и другие системы автоматизации на железнодорожном транспорте. Очевидно, что ИУС такого назначения являются критичными к безопасности функционирования как аппаратного, так и программного обеспечения (ПО). В связи с динамичностью технологических процессов организации движения, меняющейся интенсивностью обслуживания пассажиров существенным обстоятельством является поддержка качества функционирования ИУС в условиях изменения нагрузок. Нагрузки в ИУС могут достигать предельных значений из-за возникновения пиковых факторов. Качество функционирования ИУС зависит, в частности, от качества ПО. Структура и интенсивность информационных потоков должны учитываться при разработке ПО такого класса. Распространенными математическими моделями описания ИУС и информационных потоков в них являются методы теории очередей. В данной статье рассматривается подход, который, по мнению авторов, может быть использован для оценки качества сетевого ПО ИУС, основанный на изучении информационных потоков с предельными и пиковыми нагрузками, описываемых в терминах теории очередей.

**Предельные нагрузки и пиковые факторы в оценке качества функционирования ИУС.** Одним из главных требований к ИУС является обеспечение высокого качества обслуживания пользователей. Задачи, связанные с моделированием качества обслуживания ИУС на железнодорожном транспорте, рассматривались в работах [1–4]. Выбор системы показателей, характеризующих качество их обслуживания, относится к числу наиболее важных и сложных проблем нормирования параметров функционирования как всей ИУС, так и ее элементов, что будет далее обсуждаться для оценки качества сетевого ПО ИУС. В общем, качество обслуживания ИУС зависит от среды её функционирования, которой в нашем случае является единая корпоративная сеть передачи данных на железнодорожном транспорте, поэтому во многом качество определяется степенью удовлетворенности пользователя получением услуг, предоставляемых телекоммуникационной сетью. Качество обслуживания в телекоммуникационной сети  составляет совокупность

* Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект 09-08-00097-а).

таких свойств, как обеспеченность обслуживанием, эксплуатационная пригодность обслуживания, эффективность и целостность обслуживания (рис. 1). Данное определение, на наш взгляд, необходимо дополнить следующими требованиями: регламентированный доступ к информационным ресурсам, обеспечение необходимого уровня защищенности от помех в каналах передачи данных и пунктах обработки информации, невосприимчивость к аварийно значимым внутренним и внешним возмущениям системы.

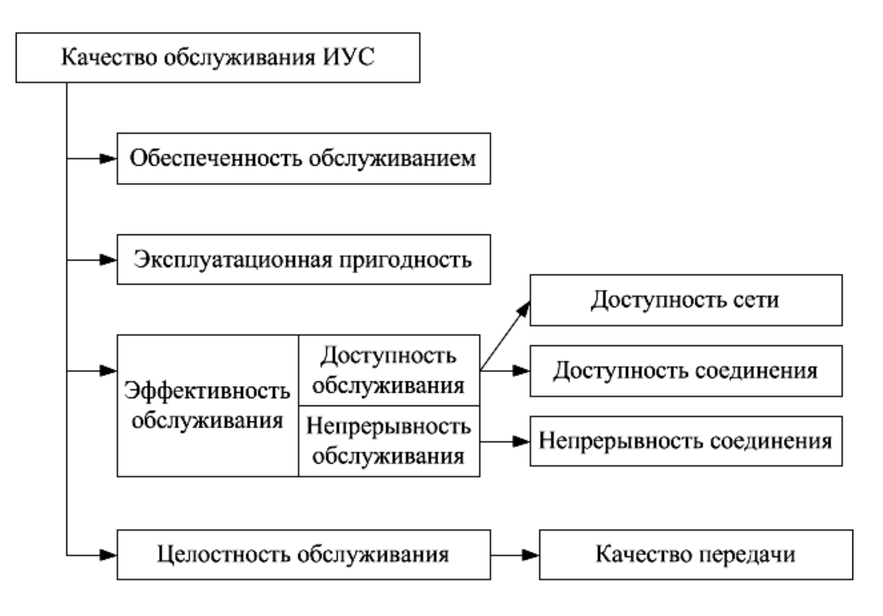



Рис. 1. Свойства, составляющие качество обслуживания информационно-управляющей системы

Предметом исследования данной статьи является влияние пограничных режимов, нарушающих работоспособность ПО ИУС. Причинами, приводящими к этому состоянию, являются предельные информационные нагрузки, которые снижают качество обслуживания, но не нарушают работоспособности ПО ИУС, и пиковые факторы – явления, действие которых может привести к нарушению работоспособности ПО ИУС или ее элементов, а следовательно, к резкому снижению качества обслуживания. Эти явления для транспортных систем ранее рассматривались в работах [5–6]. Пиковые факторы могут влиять как на всю сеть, так и на какой-либо ее элемент или группу элементов.

Источники пиковых факторов многочисленны и разнообразны. Часто обобщением пиковых факторов являются дестабилизирующие факторы, однако подчеркнем, что в такой термин во многих случаях вкладывается смысл преднамеренного нарушения работоспособности телекоммуникационной инфраструктуры, хотя в данном случае исследование этого вопроса, по мнению авторов, относится к компетенциям информационной безопасности. В данной работе основное внимание уделяется непреднамеренным воздействиям, которые могут существенно повлиять на работоспособность ПО ИУС. Вопросы классификации пиковых факторов еще требуют проработки. Одними из существенных признаков классификации являются:

1) место расположения источника дестабилизирующих факторов относительно ИУС, определяющее возможности сети в части его ликвидации или уменьшения его влияния (внутренние или внешние);

2) пространственно-временные показатели воздействий, характеризующие масштабы возможных одновременных разрушений или нарушений работоспособности элементов сети (локальные или массовые);

3) характер воздействий, определяющий «интеллект» источника и, следовательно, методы борьбы с его влияниями (преднамеренные или непреднамеренные).

Можно предложить вариант классификации пиковых факторов (рис. 2) на основе перечисленных признаков с указанием свойств ИУС, на которые влияют эти факторы. Такая или подобные классификации источников пиковых факторов позволяют выявить стратегические направления формирования и использования ресурсов телекоммуникационной сети для обеспечения ее функционирования в условиях, создаваемых деятельностью этих источников.

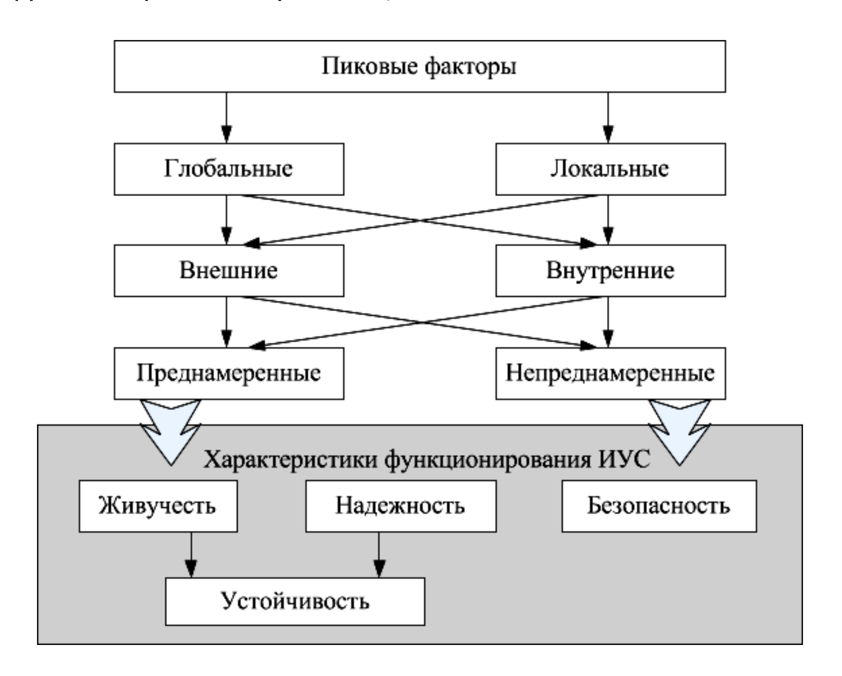



Рис. 2. Классификация пиковых факторов

Задача исследования качества обслуживания и зависящего от него качества ПО без учета предельных нагрузок в ИУС хорошо изучена. Однако сетевое ПО ИУС на железнодорожном транспорте имеет свои особенности и содержит целый ряд показателей, оказывающих существенное влияние на качество ПО в целом.

**Показатели оценки функционирования сетевого ПО ИУС.** За основу оценки качества функционирования ПО в рассматриваемых системах целесообразно принять структуру показателей, соответствующих уровням базовой эталонной модели взаимодействия открытых систем *ISO*/*OSI*: физического, логического, сетевого, транспортного, сессионного, представительного, прикладного [7]. Первые три уровня этой модели определяют базовый коммуникационный механизм, коммуникационные подсети, которые обеспечивают возможность передачи данных от одного физического сетевого устройства к другому. Транспортный уровень обеспечивает интерфейс, который гарантирует в целом некоторый уровень сервиса для пользователей сети с помощью механизма логической адресации, избавляющего пользователей от необходимости сохранения информации о физически подключаемых сетевых ресурсах. Следующие уровни обеспечивают операционным системам и их пользователям общую идеологию работы с сетевым окружением: именование сетевых ресурсов, сетевых потоков, целостность, защищенность и доступность данных.

Заметим, что большинство исследований функционирования сетевого ПО основываются лишь на некоторых, как правило, наиболее очевидных показателях, например, скорости передачи данных на физическом уровне и т. д. Однако для каждого из перечисленных уровней существует целый комплекс показателей, зачастую коррелированных между собой. Поэтому для получения целостной картины и объективной оценки качества сетевого ПО необходим учет всей их

совокупности и выявление наиболее значимых в условиях конкретной задачи. Процессы сбора и обработки данных зависят от показателей работы телекоммуникационных систем на всех перечисленных уровнях. Например, формирование статистических выборок не может производиться без учета показателей физического уровня интерфейсов и сети, для которого насчитывается около 30 различных характеристик, разделенных на группы. Далее предлагается классификация показателей, подходящих для оценки качества функционирования ПО ИУС на каждом уровне представления информации в телекоммуникационной сети.

1. Физический уровень (на данном и следующем уровнях под фреймом понимается блок битов некоторого размера. Например, средняя величина фрейма в сети *Ethernet* – 1536 байтов).

*Показатели назначения сигналов:* передача данных, передача разрешена, ошибка передачи, синхронизация передачи, прием данных, прием данных верный, ошибка приема, синхронизация приема, обнаружение коллизий, чувствительность коллизий.

*Показатели конфигурации сетевого интерфейса* (виды сетевого кабеля): витая пара, оптоволокно.

*Показатели режима работы:* дуплекс, полудуплекс, скорость передачи данных.

*Временные показатели трансивера:* величина джиттера (вариация временной задержки между попытками передачи), время потери связи, время обнаружения связи, период передачи данных, период приема данных.

*Показатели топологии сети:* вид топологии; длина сегмента; количество узлов; количество повторителей в сегментах сети; величина затухания в сегменте сети.

*Временные показатели сети:* величина битового интервала, задержка на распространение сигнала в сегменте сети, величина междуфреймового интервала, время двойного оборота в сегменте сети.

2. Логический или уровень установления канала связи между сетевыми устройствами. На этом уровне особое внимание уделяется обеспечению безошибочности обмена данными, поддержанию заданной полосы пропускания (по возможности, максимальной). Эти показатели существенно влияют на качество функционирования в пределах сегментов и сети в целом.

*Показатели полосы пропускания:* минимальная, максимальная, средняя полоса пропускания для битовой и фреймовой скорости.

*Показатели задержки:* среднее время задержки предоставления фрейма, задержка готовности (отношение времени безошибочной передачи к общему времени соединения), задержка отклика (время от начала поступления запроса до получения отклика на него), показатели джиттера (вариация задержки между фреймами в пределах одного логического соединения).

*Показатели безошибочности соединения:* корректность (число корректно переданных фреймов по отношению к общему количеству фреймов за одно логическое соединение), уровень ошибок (количество некорректных фреймов к общему их количеству), время ошибочности приемопередач (время нахождения приемника или передатчика в состоянии обработки ошибочных фреймов).

*Показатели потерь фреймов* (классифицируются по типу ошибок, по причине которых возникают): ошибки контрольных сумм, коллизий, некорректных длин фреймов и т. д.

*Эксплуатационные показатели:* среднее время предоставления корректного (некорректного) соединения, готовности соединения, восстановления соединения.

3. Сетевой уровень характеризуется тем, что фреймы объединяются в пакеты (дейтаграммы), к которым добавляется *IP* -заголовок, и возможна маршрутизация по разным путям их доставки. Выделим следующие группы показателей.

*Показатели времени доставки и задержки:* межпакетное время прибытия, время доставки пакета от источника к приемнику, складывающееся из времени проверки доступности приемника и времени доставки значащих битов пакета (этот показатель также называют задержкой доставки

по одному направлению); текущая вариация задержки пакета, рассматриваемая в двух видах: для пары следующих друг за другом пакетов – это разность величин по вышеуказанному показателю, для потока пакетов – это разность между первым и последующими пакетами в одном потоке; величина окна приема-передачи пакетов.

*Показатель потерь пакетов*, измеряемый как число пакетов, не принятых или принятых приемником с ошибкой.

*Приведенные показатели потерь:* коэффициент потерь пакетов, приведенный к Пуассоновскому процессу; Леви-процессу (с большими «выбросами»); к Марковскому процессу (фазового типа).

*Показатели полосы пропускания:* максимальная передаваемая длина пакета *MTU – Maximum Transmission Unit*; пиковая пропускная способность; число пакетов одного типа в общем числе пакетов, передаваемых в трафике одного направления; время «жизни» пакета – число передач его через маршрутизирующие узлы сети.

*Показатели изменения производительности в зависимости от полосы пропускания:* временные интервалы увеличения *MTU* при увеличении полосы пропускания и при уменьшении полосы пропускания.

4. Транспортный уровень выполняет функции установления и разрыва транспортного соединения, передачи и управления потоком данных, а также принимаются соглашения о пропускной способности каналов и достоверности передаваемых потоков информации.

*Временные показатели потоковых соединений:* время работы потокового соединения, временная задержка подтверждения приема потока, минимальный тайм-аут для синхронизации потока, минимальное и максимальное время работы потокового соединения по умолчанию, межпакетное время ожидания в пределах потока.

*Количественные показатели потоковых соединений*, влияющие на производительность: величина скользящего окна приема данных, величина сегмента данных.

*Показатели объема информации потокового соединения:* объем трафика одного потокового соединения, суммарный объем трафика *TCP*-соединений.

*Показатели очереди соединения:* длина очереди одного сетевого сокета (виртуального логического соединения по приложению одного уровня), характеризующая количество принципиально возможных подключений к одному сетевому порту; объем памяти для описателей характеристик соединения.

5. Сессионный уровень. Показатели данного уровня формально трудно определить по той причине, что они «перехвачены» функциями предыдущего уровня. Основным показателем этого уровня является *время сессии* (*сеанса*).

*Время сессии* складывается из следующих двух показателей:

– *время установления* (*завершения*) *соединения*, состоящее из времени передачи метки запроса информации о соединении; времени синхронизации (ресинхронизации); времени нахождения в состоянии завершения (обрыва) соединения;

– *время передачи блока данных* (*SPDU – Session Protocol Data Unit*).

6. Уровень представления данных, на котором выполняется преобразование различного вида данных, кодирование (точнее, приведение) к единой структуре данных *ASN*.1 (*Abstract Syntax Notation*). Очевидно, это время определяется рядом факторов: аппаратной платформой, центральным процессором, операционной системой, версией реализации стека протоколов. Таким образом, на уровне представления данных следует определять такой показатель, как *общее время преобразования* к *ASN*.1.

7. Уровень приложений, на котором происходит установление, поддержание, разрыв соединения между логическими объектами административного управления, контроль состояния, сбор статистики, защита от ошибок. На этом уровне существует около 30 протоколов прикладного уровня, пользующихся услугами *IP* -сети, поэтому построение полной структуры показателей для

этого уровня представляет весьма трудоемкую задачу. Наиболее важным является *показатель интегрального времени выполнения функций программных интерфейсов сетевых протоколов*.

Среди всех представленных показателей для оценки качества ПО ИУС методами теории очередей особое значение имеют различные временные показатели. Из представленной классификации можно выделить четыре группы показателей, влияющих на время реакции ПО:

1) время распространения сигнала $T_1$;
2) время доставки данных в одном направлении $T_2$;
3) время коррекции ошибок и ретрансляции данных $T_3$;
4) временные задержки операционной системы и программного окружения $T_4$.

Далее можно получить одну из важнейших характеристик – время реакции ПО на обработку сообщения $T_o = \sum_{j=1}^{4} T_j$, где $j$ – номер группы показателей.

**Моделирование предельных информационных нагрузок средствами теории очередей.** Одним из распространенных способов моделирования информационных потоков в сетевых ИУС, в частности системах на транспорте, является теория очередей (теория массового обслуживания) [4]. Предметом изучения в данном контексте исследования являются пиковые факторы, возникающие в моделируемых информационных потоках, которые, как уже ранее указывалось, могут приводить к возникновению пиковых и предельных информационных нагрузок. Исследованию подходов к моделированию и измерению пиковых факторов в информационных потоках на нынешнее время посвящено не так уж много научных работ, что свидетельствует, по нашему мнению, скорее не об отсутствии интереса к данной тематике, а об отрыве разрабатываемых в теории методов от задач исследования реальных систем. Тем не менее, элементы моделирования и оценки пиковых факторов в информационных потоках присутствуют в современных монографиях по математическим методам в инженерии [8, п. 6.8.2], по моделированию и оценке производительности компьютерных сетей [9, п. 5.11.1] и в научных работах, например, в работе [10] с обширной библиографией по данной тематике.

Одним из способов оценки пиковых факторов в информационных потоках на основе теории очередей является подход, называемый *peakedness functional* (функционал пиковости нагрузки) [11]. При этом рассматривается процесс поступления заявок на обслуживание $X(t)$, в соответствии с которым некоторое количество элементов обслуживания $S(t)$ оказываются занятыми в момент времени $t$. Очевидно, что процесс обслуживания можно описать распределением времени обслуживания $F(x)$. Функционал пиковости нагрузки $z_X[F]$ представляет собой отображение $F(x)$ в скалярную величину

$$z_X[F] = \frac{Var[S(t)]}{E[S(t)]}. \tag{1}$$

В (1) накладывается ограничение на независимость дисперсии $Var[S(t)]$ и математического ожидания $E[S(t)]$ от времени $t$ в связи со стационарностью $X(t)$ и инвариантностью временных сдвигов. Очевидно, что соотношение (1) является довольно простой и эффективной мерой оценки пиковых факторов, но эта мера не лишена недостатков. Во-первых, в рассматриваемом функционале никак не отражается структура информационного потока поступления заявок на обслуживание, которая может существенно влиять на оценку пиковости информационной загрузки ПО ИУС. Во-вторых, из контекста работы [11] становится понятным, что исходной моделью входного потока все же является случайный точечный процесс с восстановлениями, который накладывает ограничения, связанные с необходимостью учета во входном потоке некоторого распределения времени поступления информации.

Для преодоления этих ограничений предлагается следующий подход. Рассмотрим подробнее математические аспекты оценки пиковых факторов в информационных потоках. Одним из адекватных способов моделирования в нашем случае будет использование случайного точечного процесса, который подходящим образом описывает поступление пакетного трафика [12], обрабатываемого сетевым ПО ИУС. Случайный точечный процесс имеет вид

$$X(t)=\sum_{i=0}^{+\infty}\delta(t-T_i),$$

где $\{T_i\},\ i=0,1,\ldots$ обозначает последовательность времени поступления пакетов с информацией, $\delta(\bullet)$ - дельта-функция Дирака. $X(t)$ в некоторый момент времени равен 0, если информация не поступала. Также принимается $T_0=0$.

Соответствующий точечному процессу $X(t)$ считающий процесс

$$N(t)=\sum_{i=0}^{+\infty}u(t-T_i),$$

где $u(t)$ является единичной ступенчатой функцией:

$$u(t)=\begin{cases}0,\ \text{если}\ t<0;\\ 1\ \text{в остальных случаях.}\end{cases}$$

$N(t)$ имеет смысл, трактуемый как количество сетевых пакетов, поступивших на обработку ПО на интервале времени $(0,t],\ t\ge 0$. Обозначим количество поступивших сетевых пакетов на интервале $(t_1,t_2]$ как $N_X(t_1,t_2)=N(t_2)-N(t_1),\ \forall t_1,t_2\in\mathbb{R}$. Интенсивность процесса поступления сетевых пакетов обозначим $\lambda_X\,\frac{1}{E[A_n]}$, где последовательность $\{A_n=T_n-T_{n-1}\}$ является последовательностью времени поступления между сетевыми пакетами. Если наложить на последовательность $\{A_n\}$ условие стационарности, то считающий процесс $N_\Delta(\tau,\tau+t)$ будет эквивалентным по распределению ранее указанному процессу $N_X(t_1,t_2)$. При таких условиях ковариационная плотность точечного процесса $X(t)$ [13] определяется

$$k_{\Delta X}(t_1,t_2)=\lim_{\Delta t_1,\Delta t_2\to 0}\frac{Cov\left[N_\Delta(t_1,t_1+\Delta t_1),N_\Delta(t_2,t_2+\Delta t_2)\right]}{\Delta t_1,\Delta t_2}. \qquad (2)$$

В связи с тем, что предел (2) может не существовать, ковариационная плотность точечного процесса может быть определена как обобщенная функция из соотношения

$$Cov\left[N_\Delta(t_1,t_1+\Delta t_1),N_\Delta(t_2,t_2+\Delta t_2)\right]=\int_{t_1}^{t_1+\Delta t_1}\int_{t_2}^{t_2+\Delta t_2}k_{\Delta X}(\tau_1,\tau_2)\,d\tau_2 d\tau_1,$$

где $t_1,t_2,\Delta t_1,\Delta t_2,\tau_1,\tau_2\in\mathbb{R}$.

Характеристики $\lambda_X$ и $k_{\Delta X}$ являются существенными для моделирования информационной загрузки ПО ИУС. В соответствии с описанным выше стационарным точечным процессом $X(t)$ с интенсивностью информационной загрузки $\lambda_X$ и ковариационной плотностью $k_{\Delta X}$ рассмотрим обслуживание поступающих сетевых пакетов информации. Пусть для каждого поступления некоторого объема сетевых данных выделяются ресурсы, и $S(t)$ обозначает некоторое количество таких ресурсов, например, сетевых сокетов ПО. Связанный с этим процесс

обслуживания обозначим в смысле распределения времени обслуживания через $F_S(x)$ со средней интенсивностью обслуживания $\mu_{F_S}$ .

Обратим теперь внимание на факт, что выражение (1) для функционала пиковости имеет смысл общей вариативности процесса обслуживания поступающих сетевых пакетов трафика (в нашем контексте – изменение усредненных соотношений обработанной и поступившей информации на данный момент времени). Для того чтобы учитывать вариабельность процесса поступления сетевого трафика в некоторый момент времени $t$ , предлагается уточнение формулы (1), и функционал пиковости нагрузки записывается в более общей форме:

$$z(X,F_X,t)=\frac{Var\left[S(X,F_X,t)\right]}{E\left[S(X,F_X,t)\right]}, \tag{3}$$

где $S(X,F_X,t)$ – объем трафика (в байтах, в сетевых пакетах и т.п.), который поступает в соответствии с точечным процессом $X(t)$ и подлежит обработке ПО в соответствии с законом обслуживания $F_X$ в момент времени $t$ .

**Заключение.** В статье предложен отличающийся от известных способ оценки качества функционирования сетевого ПО, основывающийся на моделировании и измерении интенсивности информационной нагрузки, поступающей в ИУС в виде сетевого трафика. Выполнен анализ причин возникновения пиковых нагрузок и их роли в изменении качества функционирования системы в целом. Дана детальная классификация временных показателей сетевого ПО ИУС, на основе которой можно проводить практические измерения объемов поступившего и обработанного трафика. В качестве меры информационной нагрузки ИУС предложен функционал пиковости общего вида (3), позволяющий в динамических режимах и для различных законов обслуживания поступающей информации, обрабатываемой сетевым ПО, оценивать факторы, влияющие на качество его функционирования.

**Библиографический список**

1. Бутакова М.А. Классификация потоков данных и метод статистического моделирования в системах и сетях телекоммуникаций на транспорте / М.А. Бутакова // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2005. – № 2. – С. 38–43.

2. Бутакова М.А. К вопросу анализа информационных потоков в телекоммуникационных системах железнодорожного транспорта / М.А. Бутакова // III Междунар. науч.-практ. конф. «Телекоммуникационные технологии на транспорте России»: сб. докладов, г. Сочи. – 2005. – С. 329–242.

3. Гуда А.Н. Модели потоков в системах и сетях с пакетной коммутацией данных / А.Н. Гуда, М.А. Бутакова // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2006. – № 3. – С. 36–40.

4. Бутакова М.А. Модели информационных потоков в системах массового обслуживания на транспорте / М.А. Бутакова. – Ростов н/Д: Изд-во Рост. гос. ун-та, 2006. – 228 с.

5. Бутакова М.А. Анализ критических ситуаций в транспортных системах / М.А. Бутакова, Н.Н. Лябах // Известия вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. – 2004. – № 2. – С. 70–72.

6. Бутакова М.А. Стохастические модели потоков с пиковыми нагрузками / М.А. Бутакова // Обозрение прикладной и промышленной математики. – 2006. – Т. 13, вып. 2. – С. 216–220.

7. Галкин В.А. Телекоммуникации и сети: учеб. пособие для вузов / В.А. Галкин, Ю.А. Григорьев. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003.

8. Fische G. Mathematics for Engineers / G. Fische, G. Hebuterne. – Wiley, 2008.

9. Giambene G. Queueing Theory and Communications: Networks and Applications / G. Giambene // Springer. – 2005.

10. Molnar S. Peakedness Characterization in Teletraffic / S. Molnar, G. Miklos // PICS'98 Proceedings of the IFIP TC6/WG6.3 Seventh International Conference on Performance of Information and Communication Systems. [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: http://dl.acm.org/citation.сфm?id=716540. – P. 97–110.

11. Eckberg A.E. Generalized Peakedness of Teletraffic Processes / A.E. Eckberg // Proceeding of the 10th International Teletraffic Congress. – Montreal, Canada, 1983.
12. Шелухин О.И. Самоподобие и фракталы. Телекоммуникационные приложения / О.И. Шелухин, А.В. Осин, С.М. Смольский. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. – 368 с.
13. Бартлетт М.С. Введение в теорию случайных процессов / М.С. Бартлетт. – М.: Изд-во иностр. лит-ры, 1958.

Материал поступил в редакцию 06.06.11.

**References**

1. Butakova M.A. Klassifikaciya potokov danny`x i metod statisticheskogo modelirovaniya v sistemax i setyax telekommunikacij na transporte / M.A. Butakova // Vestnik Rostovskogo gosudarstvennogo universiteta putej soobshheniya. – 2005. – # 2. – S. 38–43. – In Russian.
2. Butakova M.A. K voprosu analiza informacionny`x potokov v telekommunikacionny`x sistemax zheleznodorozhnogo transporta / M.A. Butakova // III Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. «Telekommunikacionny`e texnologii na transporte Rossii»: sb. dokladov, g. Sochi. – 2005. – S. 329–242. – In Russian.
3. Guda A.N. Modeli potokov v sistemax i setyax s paketnoj kommutaciej danny`x / A.N. Guda, M.A. Butakova // Vestnik Rostovskogo gosudarstvennogo universiteta putej soobshheniya. – 2006. – # 3. – S. 36–40. – In Russian.
4. Butakova M.A. Modeli informacionny`x potokov v sistemax massovogo obsluzhivaniya na transporte / M.A. Butakova. – Rostov n/D: Izd-vo Rost. gos. un-ta, 2006. – 228 s. – In Russian.
5. Butakova M.A. Analiz kriticheskix situacij v transportny`x sistemax / M.A. Butakova, N.N. Lyabax // Izvestiya vuzov. Sev.-Kavk. region. Texn. nauki. – 2004. – # 2. – S. 70–72. – In Russian.
6. Butakova M.A. Stoxasticheskie modeli potokov s pikovy`mi nagruzkami / M.A. Butakova // Obozrenie prikladnoj i promy`shlennoj matematiki. – 2006. – T. 13, vy`p. 2. – S. 216–220. – In Russian.
7. Galkin V.A. Telekommunikacii i seti : ucheb. posobie dlya vuzov / V.A. Galkin, Yu.A. Grigor`ev. – M.: Izd-vo MGTU im. N.E`. Baumana, 2003. – In Russian.
8. Fische G. Mathematics for Engineers / G. Fische, G. Hebuterne. – Wiley, 2008.
9. Giambene G. Queueing Theory and Communications: Networks and Applications / G. Giambene // Springer. – 2005.
10. Molnar S. Peakedness Characterization in Teletraffic / S. Molnar, G. Miklos // PICS'98 Proceedings of the IFIP TC6/WG6.3 Seventh International Conference on Performance of Information and Communication Systems. [Electronic resource]. – URL: http://dl.acm.org/citation.cfm?id=716540. – P. 97–110.
11. Eckberg A.E. Generalized Peakedness of Teletraffic Processes / A.E. Eckberg // Proceeding of the 10th International Teletraffic Congress. – Montreal, Canada, 1983.
12. Sheluxin O.I. Samopodobie i fraktaly`. Telekommunikacionny`e prilozheniya / O.I. Sheluxin, A.V. Osin, S.M. Smol`skij. – M.: FIZMATLIT, 2008. – 368 s. – In Russian.
13. Bartlett M.S. Vvedenie v teoriyu sluchajny`x processov / M.S. Bartlett. – M.: Izd-vo inostr. lit-ry`, 1958. – In Russian.

## MODELING AND PERFORMANCE EVALUATION OF NETWORK SOFTWARE FOR MANAGEMENT INFORMATION SYSTEMS ON TRANSPORT AT LOAD LIMIT CONDITIONS

**M.A. BUTAKOVA, A.N. GUDA, S.V. CHUBEIKO**
(Rostov State Transport University)

*Some matters of the performance evaluation of the network software presented as a system functioning at the information load limit conditions are considered. The peakedness functional of the information load is offered. It permits to carry out modeling and numerical estimation of the variability ratio of the incoming and processing by the network software information.*
***Keywords:*** *performance, software, teletraffic, peak factors.*

УДК 621. 002: 539. 3 (075.8)

# КЛАССИФИКАЦИЯ И ФИЗИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ДИНАМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ПОВЕРХНОСТНО-ПЛАСТИЧЕСКОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ

**В.А. ЛЕБЕДЕВ**
(Донской государственный технический университет)

*Представлена классификация динамических методов поверхностного пластического деформирования, раскрыта с позиций энергетического подхода физическая сущность механизма упрочнения деталей этими методами и обоснована предпочтительная область их технологического назначения.*
***Ключевые слова**: поверхностно-пластическое деформирование, упрочнение, индентор, поверхностный слой.*

**Введение.** Любой метод поверхностного пластического деформирования (ППД), осуществляемый в рамках технологического маршрута изготовления детали, предназначен выполнить необходимые действия над заготовкой для получения детали требуемого по условиям эксплуатации качества. Для разработки с единых теоретических позиций обобщенной методики проектирования технологий упрочнения динамическими методами ППД, основанной на структурно-энергетическом подходе, в качестве исходной предпосылки могут быть приняты классификация и физико-технологические аспекты этих методов, изложенные в статье.

**Классификация динамических методов.** Операции обработки динамическими методами ППД включают в технологический процесс в основном для упрочнения детали с целью обеспечения максимального приращения предела выносливости, износостойкости и других эксплуатационных свойств. В процессе ППД динамическими методами это достигается путем изменения ряда параметров качества поверхности и свойств материала поверхностного слоя, а именно:

– формируется качественно новая макро- и микрогеометрия поверхностного слоя;

– в поверхностном слое возникают остаточные макронапряжения, являющиеся следствием упругопластических искажений кристаллической решетки материала;

– структура поверхностного слоя приобретает моногенный текстурированный характер из-за изменения формы, размеров и ориентировки зерен.

Обработка деталей динамическими методами ППД позволяет:

– повысить сопротивление пластической деформации при циклических эксплуатационных нагрузках;

– повысить предел прочности и текучести, твердости и микротвердости поверхности;

– снизить характеристики пластичности.

Следует отметить, что эффективность упрочнения тесно связана с интенсивностью упругопластической деформации материала в процессе ППД.

Известно, что по характеру энергетического воздействия на обрабатываемую поверхность инденторов инструмента или энергонесущей обрабатывающей среды все методы обработки ППД подразделяются на два класса: квазистатические и динамические [1–3]. В первом случае процесс протекает в условиях непрерывного контакта индентора инструмента с обрабатываемой поверхностью при постоянных, как правило, значениях деформирующей нагрузки (силы). Во втором случае пластическая деформация поверхностного слоя осуществляется путем многократного ударно-импульсного воздействия инденторов инструмента или энергонесущей обрабатывающей среды на обрабатываемую поверхность. При этом инденторы энергонесущей обрабатывающей среды или многократно воздействуют на всю обрабатываемую поверхность с изменяющимся усилием деформации от нуля до максимального значения, или, если процесс ППД носит локальный характер, очаг деформации последовательно с определенным шагом проходит обрабатываемую поверхность.

В качестве основополагающих признаков, предопределяющих физическую сущность процесса деформирования, и, как следствие, упрочнение поверхностного слоя динамическими методами ППД, можно выделить:

– вид инденторов инструмента или энергонесущей обрабатывающей среды, используемых для реализации процесса ППД;

– кинетические особенности взаимодействия инденторов инструмента или энергонесущей обрабатывающей среды с обрабатываемой поверхностью и их связь с источником энергии;

– характер энергетического поля (потока), обеспечивающего динамическое состояние инденторов энергонесущей обрабатывающей среды в процессе обработки;

– траектория движения энергонесущей обрабатывающей среды в энергетическом поле;

– вид источника энергии технологической системы, в условиях которой реализуется метод ППД.

На основе вышеприведенных признаков динамические методы ППД можно сгруппировать следующим образом.

По количеству инденторов, одновременно воздействующих на обрабатываемую поверхность в процессе ее обработки, и их кинематической связи с источником энергии динамические методы ППД делятся на две основные группы (рис. 1):

– группа одноконтактных методов, реализующих процесс ППД единичным индентором, имеющим полужесткую связь с источником энергии;

– группа многоконтактных методов, осуществляющих обработку поверхности потоком свободнодвижущихся инденторов в условиях энергетического поля (потока), формируемого источником энергии.

Механизм упругопластической деформации поверхностного слоя при обработке динамическими методами ППД и, как следствие, качество сформированного в процессе обработки поверхностного слоя зависит от первоначальной природы энергонесущей обрабатывающей среды или индентора инструмента.

В качестве энергонесущих обрабатывающих инденторов в технологии обработки одноконтактными динамическими методами ППД используют твердое металлическое тело, как правило, сферической формы (шарики). При обработке многоконтактными методами основу энергонесущей обрабатывающей среды составляют или твердые кристаллические тела в виде шариков, дроби или вещества различной физической природы (газ, жидкость, металлическая смесь).

На рис. 2 представлены свойственные динамическим методам ППД схемы взаимодействия инденторов с обрабатываемой поверхностью, из которых видно, что механизм упругопластической деформации поверхности определяется размерами инденторов и геометрическими характеристиками шероховатости поверхности, получаемой на предшествующей ППД операции.

Критериальным соотношением, позволяющим оценить присущий процессу ППД динамическими методами механизм упругопластической деформации, является соотношение

$$\vartheta = \frac{d_и}{S_н}, \quad (1)$$

где $d_и$ – диаметр индентора инструмента или энергонесущей обрабатывающей среды; $S_н$ – среднее значение шага неровностей профиля в пределах базовой длины.

Из этого соотношения следует, что если $\vartheta > 1$ (см. рис. 2,а), то процесс ППД будет характеризоваться изменением характеристик микропрофиля поверхности и ее упрочнением. При $\vartheta < 1$ (см. рис. 2,б) процесс ППД будет обеспечиваться только упрочнением поверхности, не оказывая существенного влияния на изменение характеристик микропрофиля, сформированного на предшествующей ППД операции.

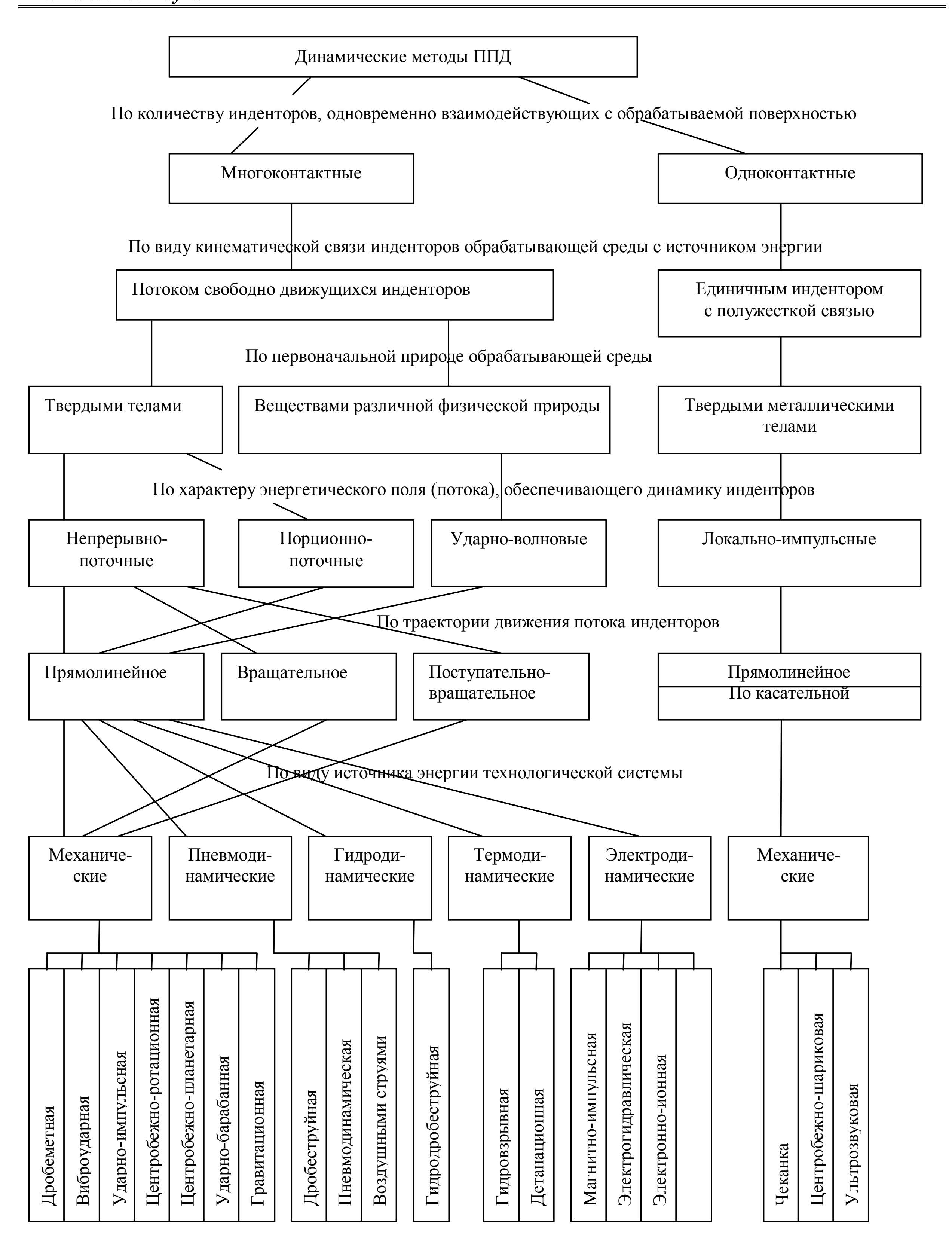
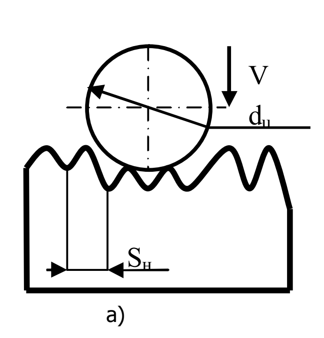
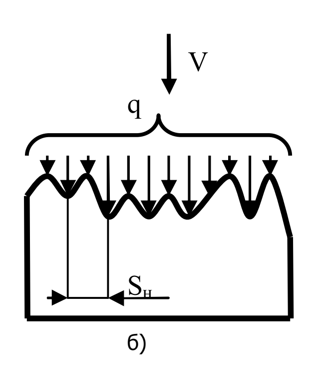



Рис. 1. Классификация динамических методов поверхностного пластического деформирования




а) б)

Рис. 2. Схемы упругопластической деформации поверхности динамическими методами ППД:
а – твердыми телами; б – веществами (смесями)

Кроме того, данное соотношение, приемлемое больше к многоконтактным динамическим методам ППД, позволяет обосновать вид энергонесущей обрабатывающей среды исходя из энергетических возможностей технологической системы, реализующей конкретный метод ППД, технологического обеспечения требуемого качества поверхности и эксплуатационных свойств деталей.

Широкое практическое применение многоконтактных динамических методов ППД для упрочнения деталей, как было отмечено ранее, потоками свободнодвижущихся инденторов, обусловлено их высокой эффективностью, универсальностью, приемлемостью для разнообразной по форме и размерам номенклатуры изделий, гибкостью процессов ППД. Кроме того, проведенный анализ технических и технологических систем их реализации, общность механизмов упругопластической деформации позволяет рассматривать их физико-технологическую сущность с единых методологических позиций.

Такой подход дает возможность, с одной стороны, выявить особенности методов ППД, определить рациональные области их применения, а также осуществить их выбор на этапе технологической подготовки производства.

Как видно из классификации, представленной на рис. 1, в основе многообразия динамических методов ППД лежит источник энергии и характер энергетического поля или потока, обеспечивающего динамику инденторов обрабатывающей среды.

По виду источника энергии выделяют следующие технологические системы динамических методов ППД:

– механические – энергетическое состояние обрабатывающей среды обеспечивается посредством специальных устройств с механическими прерывателями, виброударных устройств, вибрационных камер и площадок, центробежно-ротационных устройств, ультразвуковых, роторных систем, ударно-импульсных устройств, барабанных камер, центробежно-планетарных и устройств элеваторного типа;

– пневмодинамические – использующие в качестве источника энергии сжатый воздух, подаваемый вместе с инденторами энергонесущей обрабатывающей среды через воздушную форсунку, который и сопровождает их до обрабатываемой детали;

– гидродинамические – позволяют энергетическое состояние инденторов обрабатывающей среды обеспечить путем их эжектирования смазывающе-охлаждающей жидкостью;

– термодинамические – в которых основным источником энергии являются взрывчатые вещества (ВВ) (газовая смесь, порох). Ударно-импульсное давление, образующееся при взрыве заряда ВВ, передается на обрабатываемую деталь непосредственно через энергонесущую обрабатывающую среду в виде жидкости, сыпучих, вязких или твердых тел;

– электродинамические – источником энергии, обеспечивающим ударно-импульсное упрочнение поверхности энергонесущей средой является или высоковольтный электрический разряд, создаваемый между электродами, помещаемыми в энергонесущую обрабатыващую среду

(жидкость), или импульсные магнитные поля, создаваемые посредством специально разработанных для этой цели индукторов.

Кинетика воздействия энергонесущей обрабатывающей среды на обрабатываемую поверхность, обуславливающая эффект ее упрочнения, зависит от динамических характеристик энергетического поля, формируемого в соответствующей методу ППД технологической системе.

Для одноконтактных методов ППД это, как правило, локально-импульсное силовое поле, создаваемое или единичным индентором с определенной частотой, или совокупностью инденторов, последовательно воздействующих на локальный участок и формирующих очаг деформации. Для многоконтактных методов ППД свободнодвижущиеся инденторы энергонесущей обрабатывающей среды под воздействием энергетического силового поля образуют концентрированный поток определенной плотности, перемещающийся с определенной скоростью в направлении преграды, в качестве которой выступает участок обрабатываемой поверхности. Характер перемещения определяется источником энергии и может быть непрерывно-поточным, порционно-поточным, ударно-волновым.

Под плотностью потока понимается число инденторов энергонесущей обрабатывающей среды, соударяющихся в единицу времени с единичной площадкой поверхности, перпендикулярной направлению движения потока.

Для оценки плотности потока можно использовать соотношение

$$J_0 = \frac{1}{F_p}, \tag{2}$$

где $F_p$ – средняя площадь, образованная линиями, соединяющими центры рассредоточения соседних трех или четырех пластических отпечатков на поверхности по сечению потока, контактирующего с поверхностью (устанавливается экспериментально).

В совокупности площадь потока энергонесущей обрабатывающей среды и скорость инденторов, обеспечиваемые энергетическим потоком (полем), определяют интенсивность процесса упрочнения и производительность обработки динамическими методами ППД.

Кроме того, интенсивность и производительность упрочнения деталей динамическими методами ППД связана с особенностями энергетического потока (поля), в условиях которого обеспечиваются динамические характеристики обрабатывающей среды. Эта особенность обусловлена траекторией движения обрабатывающей среды в процессе обработки. Как правило, для большинства динамических методов ППД характерна поступательно-прямолинейная траектория движения как отдельных инденторов, так и всего потока энергонесущей обрабатывающей среды в целом. Вместе с тем ряд механических технологических систем, основанных на использовании в качестве источника энергии механических колебаний, и вращение рабочих камер позволяют обеспечить вращательное, поступательно-вращательное движение потока энергонесущей обрабатывающей среды.

**Кинетическая сущность процесса ППД.** В качестве основных технологических предпосылок, обусловивших многообразие динамических методов ППД, можно выделить следующие:

– необходимость создания наиболее эффективных как с точки зрения интенсивности и производительности, так технико-экономических соображений процессов ППД, обеспечивающих повышение эксплуатационных свойств деталей;

– изыскание наиболее универсальных методов, а также наиболее приемлемых методов, позволяющих осуществлять упрочнение различных по прочности и жесткости деталей, а также сложных и трудоемких поверхностей;

– необходимость повышения эксплуатационных свойств деталей из высокопрочных труднообрабатываемых материалов.

Методы ППД имеют единый, обусловленный динамическим характером силового воздействия инденторов механизм упрочнения поверхностного слоя, определяющий физико-механические свойства поверхностного слоя, сущность которого заключается в следующем.

В соответствии с дислокационными представлениями процесс пластической деформации связан с генерированием (зарождением), движением и уничтожением в деформируемых объемах материала различного рода элементарных дефектов (вакансий атомов внедрения, дислокаций, свободных радикалов и др.) и их скоплений, а также субмикроскопических нарушений сплошности (пор, трещин) [2–3].

Теорией дислокаций предложена целая иерархия различных дислокационных дефектов и повреждений, которые с микроскопической точки зрения могут быть разделены на две группы: элементарные и сложные. У элементарных дефектов энергия активации образования (зарождения) имеет наиболее низкие значения, поэтому они характеризуются высокими концентрациями и скоростями зарождения и движения. К элементарным дефектам относятся вакансии, внедренные атомы, дислокационные сегменты. Все остальные дефекты представляют собой сложные, так как являются производными от элементарных дефектов в результате их скопления. Сложные дефекты служат источниками и стоками элементарных дефектов, а также препятствиями для их движения.

Любой процесс деформирования и разрушения, а значит и процесс ППД, является кинетическим и необратимым процессом независимо от физико-химической природы материала, его структуры, а также условий нагружения.

Представления процесса ППД как кинетического вытекает также из двух экспериментально установленных фактов, из которых первый свидетельствует о его статистическом характере, второй – раскрывает его феноменологическую сторону [3]. В основе феноменологии процесса лежит зависимость упрочнения элемента поверхностного слоя от силовых параметров нагружения и времени (циклов) их воздействия (рис. 3), из которой следует, что если два процесса ППД, сопровождающихся упрочнением, а следовательно, внутренней повреждаемостью элемента поверхности, протекают как при более высоких внешних силовых параметрах нагружения, так и при более низких, то разница в поведении деформируемого элемента поверхностного слоя будет зависеть только от интенсивности повреждаемости.

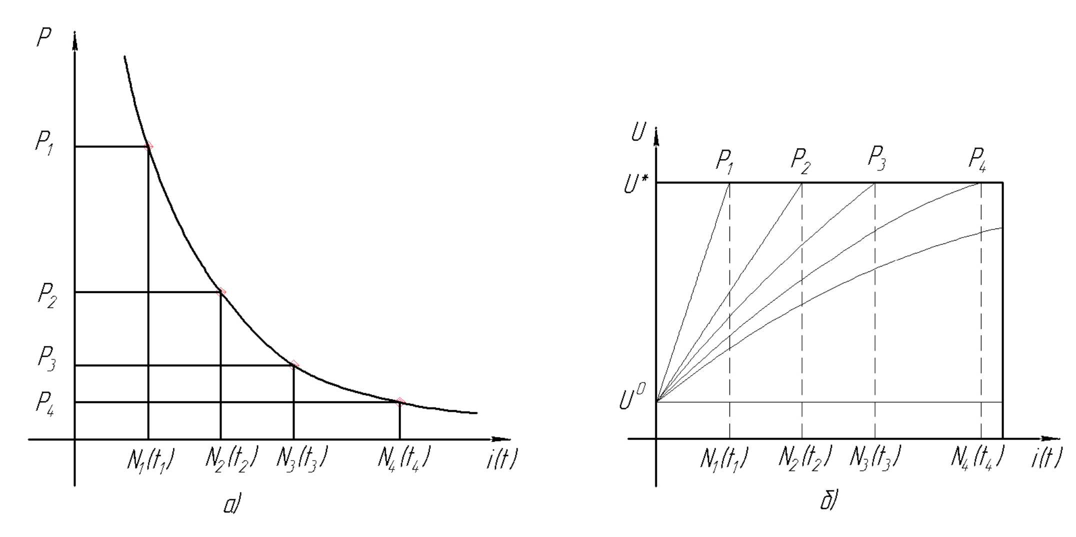



Рис. 3. Кинетика процесса ППД

Статистически процесс ППД выглядит следующим образом. В каждый момент времени (цикл) деформирования элемента поверхностного слоя заданным условиям нагружения соответ-

ствует определенная степень его повреждаемости. Как только повреждаемость материала в локальном микрообъеме достигает предельной (критической) величины, начинается процесс его разрушения в виде микро- и макронарушений.

Подтверждением этого являются результаты экспериментальных исследований влияния продолжительности ППД на усталостную прочность и износостойкость образцов, которые показали, что с появлением в поверхностном слое признаков разрушения (микротрещины) эксплуатационные показатели образцов начинают снижаться. Это позволило сделать вывод, что наибольший эффект упрочнения ППД достигается за промежуток времени или количество циклов нагружения, при котором в элементах поверхностного слоя накапливается критическая (предельная) повреждённость. Изложенные выше представления и закономерности процесса ППД могут быть описаны и проиллюстрированы следующим образом. Обозначим через $U$ количественную меру повреждённости элемента поверхностного слоя в процессе ППД, через u – степень повреждённости, а через $\underset{t}{\overset{0}{U}} = \frac{du}{dt}$ – интенсивность повреждаемости. Тогда при любой величине усилия внешнего силового нагружения поврежденность элемента поверхностного слоя будет изменяться с интенсивностью, которая в общем случае будет являться функцией силового параметра деформирования $P$, температуры T и времени t протекания процесса.

Графически это можно представить в виде кинетических кривых (см. рис. 3,б), из которых следует, что по мере деформирования элемента поверхностного слоя его повреждённость увеличивается. Это увеличение происходит до тех пор, пока повреждённость $U$ не достигает критической величины $U*$, зависящей от свойств обрабатываемого материала и не зависящей от величины силового нагружения. Последнее обстоятельство обусловлено феноменологичностью процессов деформирования и разрушения материалов. На рис. 3,а представлена зависимость изменения числа циклов нагружения элемента поверхностного слоя *i* в зависимости от силовых параметров процесса *P*, при которых достигается его критическая повреждённость. Аналогичные кривые могут быть построены для любого уровня повреждённости $U < U*$.

Запишем условие предельной повреждённости элемента поверхностного слоя в виде

$$U = U_0 + \int_0^{t^*} \overset{0}{U}\, dt = U^* = const\,, \tag{3}$$

где $U_0$ – поврежденность элемента поверхностного слоя на стадии обработки, предшествующей ППД; $t^*$ – предельное время ППД, эквивалентное предельному числу циклов внешнего силового нагружения.

Принимая, что повреждённость деформируемых в процессе ППД объемов при каждом цикле носит необратимый характер, а степень упрочнения есть результат накопления (суммирования) поврежденностей, можно сделать вывод, что предельная повреждённость и, как следствие, предельное упрочнение поверхностного слоя произойдет тогда, когда сумма относительных повреждений станет равной 1, т. е.

$$W = \frac{1}{U^*}\int_0^{t^*} \overset{0}{U}(t)\, dt = 1\,. \tag{4}$$

Это условие позволяет прогнозировать предельное время ППД, а также число циклов силового нагружения деталей для различных режимов пластической деформации поверхностного слоя, обеспечивающее максимальную степень упрочнения при условии знания зависимости $\overset{0}{U}_1\left(P, T, t(i)\right)$.

Для практического применения зависимостей (3), (4) при проектировании операций ППД необходимо:

– выявить параметр $U$ , способный интегрально характеризовать деформационное упрочнение деформируемых в процессе ППД объемов;

– установить аналитические зависимости, описывающие кинетику пластической деформации поверхностного слоя при ППД.

**В заключение** выделим два основополагающих аспекта, определяющих физико-технологическую сущность динамических методов ППД. Первый заключается в том что, несмотря на многообразие методов, разработанных для реализации этого способа упрочнения, явления, происходящие в поверхностном слое при обработке этими методами, имеют одинаковую физическую сущность.

Второй аспект заключается в том что, эффективность влияния динамических методов ППД на физико-механические и эксплуатационные свойства деталей в большей степени определяется энергетическими и технологическими возможностями, которыми располагает технологическая система, реализующая конкретный метод ППД.

**Библиографический список**

1. Одинцов Л.Г. Упрочнение и отделка деталей поверхностным пластическим деформированием / Л.Г. Одинцов. – М.: Машиностроение, 1987. – 328 с.

2. Бабичев А.П. Отделочно-упрочняющая обработка деталей многоконтактным виброударным инструментом / А.П. Бабичев [и др.]. – Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2003. – 192 с.

3. Лебедев В.А. Технология динамических методов поверхностного пластического деформирования: науч. издание / В.А. Лебедев. – Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2006. – 183 с.

Материал поступил в редакцию 19.04.11.

**References**

1. Odinczov L.G. Uprochnenie i otdelka detalej poverxnostny`m plasticheskim deformirovaniem / L.G. Odinczov. – M.: Mashinostroenie, 1987. – 328 s. – In Russian.

2. Babichev A.P. Otdelochno-uprochnyayushhaya obrabotka detalej mnogokontaktny`m vibroudarny`m instrumentom / A.P. Babichev [i dr.]. – Rostov n/D: Izdatel`skij centr DGTU, 2003. – 192 s. – In Russian.

3. Lebedev V.A. Texnologiya dinamicheskix metodov poverxnostnogo plasticheskogo deformirovaniya: nauch. izdanie / V.A. Lebedev. – Rostov n/D: Izdatel`skij centr DGTU, 2006. – 183 s. – In Russian.

## CLASSIFICATION AND PHYSICO-TECHNOLOGICAL ASPECTS OF DYNAMIC METHODS OF SURFACE-PLASTIC DEFORMATION

**V.A. LEBEDEV**

(Don State Technical University)

*The classification of dynamic methods of the surface plastic deformation is described. Physics of the work hardening mechanism by these methods is revealed from the perspective of the energy approach. The preferred area of their technological application is proved.*

***Keywords:*** *surface plastic deformation, strengthening, indenter, surface layer.*

УДК 621.833.6

# ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ СОВМЕЩЁННЫХ КОНИЧЕСКИХ ОПОР КАЧЕНИЯ ВОДИЛА ПЛАНЕТАРНО-ЦЕВОЧНОЙ ПЕРЕДАЧИ ТИПА 2K-V

**С.О. КИРЕЕВ,**
**Б.Н. ВАСИЛЬЕВ**
(Донской государственный технический университет),
**А.П. ПАДАЛКО**
(Южно-Российский государственный технический университет)

*Изложен метод определения геометрических параметров конических роликов при проектировании радиально упорных совмещённых конических опор качения водила в планетарной передаче типа 2K-V с внецентроидным внутренним цевочным зацеплением на второй ступени. Данные опоры используются при невозможности применения стандартных конических подшипников качения по причине ограничения габаритных размеров изделия.*

***Ключевые слова****: геометрические параметры, опоры качения водила передачи 2K-V.*

**Введение.** Планетарно-цевочные передачи, известные в отечественной технической литературе под условным обозначением 2K-V [1], благодаря компактности и возможности обеспечивать значительные передаточные отношения при сохранении высокой нагрузочной способности, кинематической точности, низкой виброактивности и высокому КПД, уже достаточно длительное время успешно применяются в качестве основных элементов силового привода звеньев промышленных роботов [2]. Данные механизмы, выполненные с тремя эксцентриковыми валами, традиционным эвольвентным зацеплением на первой быстроходной ступени и внецентроидным внутренним цевочным зацеплением на второй тихоходной ступени, относятся к дифференциальным и могут применяться в машинах по различным вариантам сочетаний входных и выходных звеньев. При этом передаточное отношение получаемых редукторов будет изменяться на единицу. Как правило, выходным звеном подобного типа планетарно-цевочных редукторов, является водило, закрепленное в подшипниках качения в корпусе редуктора. Необходимо отметить, что все силы, возникающие при передаче и преобразовании вращательного движения в зацеплении эвольвентной планетарной ступени и во внецентроидном внутреннем цевочном зацеплении второй ступени, за счет принятой трехваловой схемы передачи движения полностью уравновешиваются внутри корпуса и практически не оказывают силового воздействия на указанные подшипники качения. Однако силы инерции приводимых в движение водилом рабочих звеньев промышленных роботов, возникающие при их перемещении со значительными ускорениями, их вес и приложенные к ним рабочие нагрузки создают на водиле значительные опрокидывающие моменты и осевые усилия, непосредственно воздействующие на эти подшипники качения.

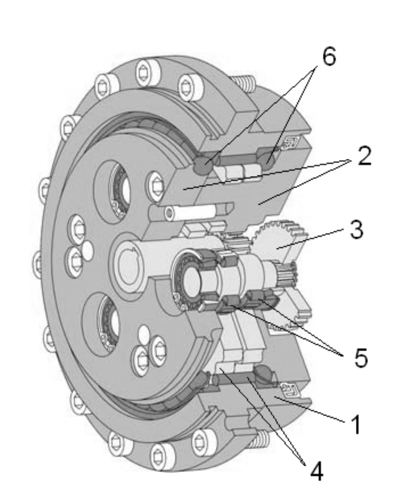



Рис. 1. Вариант трехваловой схемы планетарно-цевочного редуктора 2K-V фирмы «Nabtesco»: 1 – корпус; 2 – водило; 3 – эвольвентный сателлит быстроходной ступени; 4 – эпициклоидный сателлит и цевка внецентроидного внутреннего цевочного зацепления; 5 – цилиндрические роликовые подшипники; 6 – шарики радиально-упорных совмещённых опор качения

**Геометрические параметры опор качения водила.** На рис. 1 показан пример исполнения такого планетарно-цевочного редуктора, разработанный компанией «Nabtesco» (Германия), являющейся одной из ведущих в этом направлении зарубежных фирм.

Как видно из рисунка, рассматриваемые опоры качения выполнены в форме оригинальных радиально-упорных подшипников, внутренние кольца которых совмещены с корпусом водила, что представляет собой достаточно сложную в технологическом отношении конструкцию. Наружное кольцо выполнено отдельно и вставляется в корпус редуктора. В качестве тел качения в данных опорах качения используются шарики с точечным контактом (поз. 6). Применение подобной формы тел качения снижает динамическую и статическую грузоподъемность этих опор и ещё более усложняет технологию изготовления беговых дорожек, расположенных на корпусе водила. Увеличение динамической грузоподъемности в данном случае достигается за счет изъятия сепаратора и увеличения количества тел качения при более плотном их расположении в каждой опоре качения. Достаточно сложной представляется нам и регулировка рабочих зазоров, которая необходима для подобного типа узлов.

Переход в радиально-упорных подшипниковых узлах от точечного контакта тел качения к линейному дает возможность значительно увеличить их динамическую и статическую грузоподъемности. Это может быть достигнуто заменой в опорных узлах тел качения сферической формы на ролики, имеющие коническую форму [3]. Следует отметить, что применение в рассматриваемых опорных узлах стандартных радиально-упорных конических подшипников с необходимой грузоподъемностью, учитывая их значительные установочные размеры, может привести к увеличению общих габаритов редуктора и его массы, и в связи с этим является также нецелесообразным. Это особенно является актуальным при проектировании малогабаритных планетарно-цевочных редукторов с заранее заданными общими габаритными параметрами, определяемыми условиями их эксплуатации.

Проектированию и расчету опорных узлов водила должен предшествовать расчет всех элементов эвольвентной и цевочной передач и опорных узлов эксцентриковых валов. Выполняется также предварительная конструктивная проработка водила, всех входящих в него элементов и корпуса редуктора. Это все, в общем, дает возможность предварительно определить габаритные размеры опорных узлов водила и нагрузки, действующие на них с учетом внешних сил и моментов.

С учетом полученных значений радиальных и осевых нагрузок, действующих на совмещённые опоры качения водила, осуществляется подбор диаметральных и линейных параметров конических роликов с ориентацией на конические ролики, применяемые в стандартных радиально-упорных подшипниках. В зависимости от соотношения радиальных и осевых нагрузок ориентировочно выбирается угол контакта конического ролика в пределах 9–18° и угол конусности ролика, но так, чтобы вершина конуса ролика лежала на оси вращения водила. На рис. 2 показан один из вариантов компоновки таких подшипниковых опор (поз. 3) водила планетарно-цевочного редуктора типа ПЦР 3-36(6), разработанного авторами данной статьи.

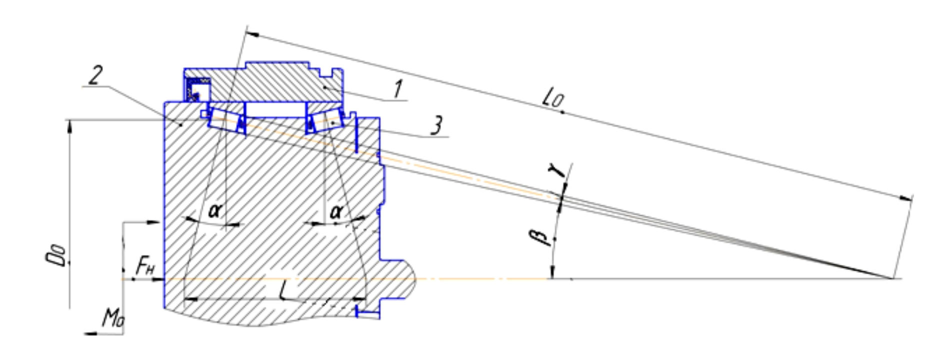



Рис. 2. Вариант компоновки совмещённых опор качения планетарно-цевочного редуктора типа ПЦР 3-36(6): 1 – корпус; 2 – водило; 3 – радиально-упорная совмещённая опора качения; α – угол контакта конического ролика; Mo – опрокидывающий момент; $F_H$ – внешняя осевая сила; L – расстояние между точками приложения опорных реакций; Lo – длина среднего конусного расстояния ролика; Do – диаметр центров комплекта роликов; β – номинальный угол контакта ролика; γ – угол конусности ролика

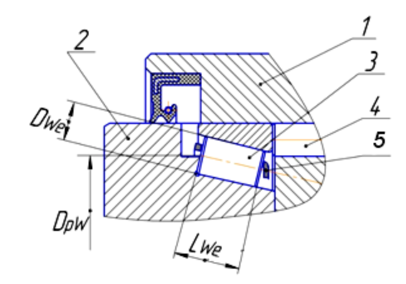



Рис. 3. Подшипниковый узел опоры водила: 1 – корпус редуктора; 2 – водило; 3 – конический ролик; 4 – цевка; 5 – сепаратор; $D_{We}$ – диаметр ролика; $D_{pW}$ – диаметр окружности центров торцов роликов; $L_{We}$ – длина ролика

Как видно из рисунка, совмещённые опоры качения ограничены, с одной стороны, параметрами водила 2 со всеми входящими в него элементами передач (на рисунке не показаны) и, с другой стороны, заданными габаритами корпуса редуктора 1. Внутренние кольца опор качения с беговыми дорожками выполнены заодно с корпусом водила. Наружные кольца являются вставными, что дает возможность за счет шлифовки их больших торцов регулировать рабочий зазор в подшипниках.

С целью получения необходимой динамической грузоподъемности подшипниковых опор при выборе диаметров конических роликов $D_{We}$ (рис. 3) необходимо ориентироваться на максимально возможные их размеры.

В соответствии с рекомендациями [4] диаметры роликов $D_{We}$ можно принять из соотношения

$$D_{We} = (0{,}5\ldots0{,}53)\,h,$$

где $h = D - D_0$; D – диаметр наружной поверхности наружного кольца подшипника; $D_0$ – диаметр окружности центров комплекта роликов (см. рис. 2).

При этом длина ролика определяется также в зависимости от величины h:

$$L_{We} = (1{,}2\ldots1{,}25)h.$$

Полученные значения $D_{We}$ и $L_{We}$ следует округлить до ближайших больших значений стандартных подшипников соответствующих серий. При этом следует расчётным путём проверить обеспечение достаточной прочности беговых дорожек, выполняемых на корпусе водила, и технологической жесткости наружных колец подшипников, устанавливаемых в корпусе передачи.

Угол при вершине конуса ролика $\alpha_p = 2\gamma$, как видно из рис. 2, жестко связан с углом контакта ролика $\alpha$ и расположением роликов относительно оси вращения водила, определяемым диаметром их центров $D_0$. Значение диаметра $D_0$ непосредственно зависит от габаритов водила и размеров входящих в его состав деталей, которые, как правило, при предварительной конструктивной проработке принимаются минимальными. В связи с этим углы контакта ролика обычно задаются.

Применение конических роликов по размерам соответствующих роликам стандартных подшипников не всегда оказывается возможным. Это связано прежде всего с тем, что для стандартных радиально-упорных подшипников диаметр центров конических роликов обычно не совпадает с диаметром центров роликов проектируемой совмещённой опоры качения. Обеспечение совпадения вершины конуса ролика с осью вращения водила приходится осуществлять за счет изменения угла контакта. Во многих случаях это приводит к значительному увеличению угла контакта ролика, и совмещённая опора качения приобретает свойства упорно-радиального подшипника, а в некоторых случаях это оказывается вообще невозможным.

Увеличение угла контакта ролика приводит к нежелательному снижению динамической радиальной грузоподъемности подшипниковой опоры водила. Это является очевидным при рассмотрении зависимости для ее определения, имеющей вид [5]

$$C=b_m f_c (iL_{We}\cos\alpha)^{7/9} Z^{3/4} D_{We}^{29/27},$$

где C – динамическая радиальная грузоподъемность подшипника; $b_m$ – коэффициент, характеризующий свойства стали с учетом способа ее изготовления; $f_c$ – коэффициент, зависящий от геометрии деталей подшипника, точности их изготовления и материала; i – число рядов роликов в подшипнике; $L_{We}$ – длина ролика, мм; $\alpha$ – угол контакта ролика; Z – число роликов в однорядном подшипнике; $D_{We}$ – диаметр ролика, мм.

Увеличение угла контакта ролика $\alpha$ уменьшает значение $\cos\alpha$ и соответственно снижает значение динамической радиальной грузоподъемности подшипника. Кроме этого величина коэффициента $f_c$ определяется по табличным данным в зависимости от отношения $(D_{We}\cos\alpha)/D_0$, и при его уменьшении уменьшается и величина этого коэффициента, оказывая также отрицательное влияние на динамическую грузоподъемность подшипника.

Необходимо также учитывать, что в радиально-упорных подшипниках действует и гироскопический момент, связанный с изменением направления оси вращения роликов в пространстве, $T_г$.

$$T_г = I\omega_p\omega_c\sin\alpha,$$

где $I$ – момент инерции ролика относительно своей оси вращения; $\omega_p$ – угловая скорость ролика вокруг своей оси; $\omega_c$ – угловая скорость вращения сепаратора; $\alpha$ – угол контакта ролика.

Увеличение гироскопического момента при увеличении угла контакта ролика отрицательно влияет на работоспособность подшипников, увеличивает износ как тел качения, так и беговых дорожек.

В связи с изложенным при принятых по ранее приведенным рекомендациям значениях диаметра ролика $D_{We}$ и его длины $L_{We}$, по всей видимости, следует задаваться углом контакта ролика $\alpha$ в пределах 9–19° в зависимости от характера и соотношения сил, действующих на подшипниковые опоры водила, а угол конусности ролика $\alpha_p = 2\gamma$ уточнять расчетным путем. При этом возможна последующая коррекция угла конусности ролика за счет незначительного изменения угла контакта ролика.

В случае незначительных отклонений по конусности стандартного конического ролика не исключается возможность его применения в подшипниковом узле водила с корректировкой угла контакта. По завершению определения всех геометрических параметров совмещённых опор качения водила уточняются точки приложения опорных реакций и расстояние между ними, окончательно определяются нагрузки, действующие на них. По приведенной выше зависимости определяется динамическая грузоподъемность проектируемых опор качения и по принятой стандартной методике рассчитывается для наиболее нагруженной из них эквивалентная рабочая нагрузка.

**Заключение.** Полученные результаты служат для определения ресурса работы совмещённых опор качения водила, который, в конечном итоге, сравнивается с заданным. При необходимости уточняются геометрические параметры и повторяется силовой расчет рассматриваемых опор качения.

**Библиографический список**

1. Кудрявцев В.Н. Планетарные передачи / В.Н. Кудрявцев. – Л.: Машиностроение, 1966. – 307 с.

2. Андре П. Проектирование роботов: пер. с французского / П. Андре [и др.]. – М.: Мир, 1986. – 385 с.

3. Патент РФ № 88406. Планетарно-цевочная передача / С.О. Киреев, Ю.В. Ершов. U1 F16H 1/48. Опубл. 10.11.2009. Бюл. № 31.

4. Орлов П.И. Основы конструирования: справочно-метод. пособие / П.И. Орлов, П.Н. Учаев. В 2-х кн. Кн. 2. – М.: Машиностроение, 1988. – 544 с.

5. Перель Л.Я. Подшипники качения: Расчет, проектирование и обслуживание опор: справочник / Л.Я. Перель, А.А. Филатов. – М.: Машиностроение, 1992. – 608 с.

Материал поступил в редакцию 16.05.11.

**References**

1. Kudryavcev V.N. Planetarny`e peredachi / V.N. Kudryavcev. – L.: Mashinostroenie, 1966. – 307 s. – In Russian.

2. Andre P. Proektirovanie robotov: per. s franczuzskogo / P. Andre [i dr.]. – M.: Mir, 1986. – 385 s. – In Russian.

3. Patent RF # 88406. Planetarno-cevochnaya peredacha / S.O. Kireev, Yu.V. Ershov. U1 F16H 1/48. Opubl. 10.11.2009. Byul. # 31. – In Russian.

4. Orlov P.I. Osnovy` konstruirovaniya: spravochno-metod. posobie / P.I. Orlov, P.N. Uchaev. V 2-x kn. Kn. 2. – M.: Mashinostroenie, 1988. – 544 s. – In Russian.

5. Perel` L.Ya. Podshipniki kacheniya: Raschyot, proektirovanie i obsluzhivanie opor: spravochnik / L.Ya. Perel`, A.A. Filatov. – M.: Mashinostroenie, 1992. – 608 s. – In Russian.

## DEFINITION OF GEOMETRICAL PARAMETERS FOR COMBINED CONE ROLLING BEARINGS OF 2K-V-TYPE PLANETARY PIN CARRIER

**S.O. KIREYEV, B.N. VASILYEV**
(Don State Technical University),
**A.P. PADALKO**
(South-Russian State Technical University)

*The method for determining the geometrical parameters of the cone rolls when designing the angular contact combined cone rolling bearings of 2K-V-type planetary pin carrier with the off-centroidal inner mangle gear at the second stage is stated. The bearings serve in case when no standard cone rolling bearings can be used due to the space restrictions.*
***Keywords:*** *geometrical parameters, rolling bearings of 2K-V-type carrier.*

УДК 621.9.06:628.5

# МОДЕЛИРОВАНИЕ ШУМООБРАЗОВАНИЯ ТОНКИХ ПИЛ

**А.А. АВАКЯН**
(Ростовский государственный университет путей сообщения),
**А.Е. ЛИТВИНОВ**
(Донской государственный технический университет),
**И.С. МОРОЗКИН**
(Ростовский государственный университет путей сообщения)

*Приведены зависимости уровней шума, создаваемого тонкими пилами металлорежущих и деревообрабатывающих станков. Показано, что снижение шума в самом источнике может быть достигнуто путем рационального выбора вибродемпфирующих характеристик систем виброзащиты.*
***Ключевые слова:*** *шум, тонкие пилы.*

**Введение.** Тонкие пилы применяются в ленточнопильных металлорежущих и деревообрабатывающих станках, а также лесопильных рамах. Несмотря на различное функциональное назначение, расчет виброакустических характеристик может быть выполнен с единых позиций.

Конструктивные особенности ленточнопильных станков заключаются в отсутствии высокоскоростных зубчатых передач в приводах, наличии длинной и маложесткой ленточной пилы, а также в широком классе конфигураций и размеров отрезаемых заготовок. Эти особенности позволяют предположить, что в формировании звукового поля станка в целом доминирует звуковое излучение самой пилы, – в первую очередь, и в ряде случаев отрезаемой заготовки.

Поскольку и у пилы, и у отрезаемых заготовок длина существенно больше размеров поперечного сечения, то в качестве модели источника шума принят линейный источник, звуковое давление которого на основе работ [1, 2] определяется следующей зависимостью:

$$P = 9,5\frac{V_k}{2}\left(f_k F l\right)^{0,5}, \qquad (1)$$

где $V_k$ – виброскорость (м/с) на каждой собственной частоте колебаний $f_k$ (Гц); $F$ – площадь поверхности источника шума, м$^2$; $l$ – длина источника, м.

**Вывод зависимостей виброскоростей тонких пил.** В ленточных пилах для устойчивой их работы создается предварительное натяжение. Собственные частоты колебаний пилы как полосы с предварительным натяжением определяются по формуле

$$f_k = \frac{k}{2l}\sqrt{\frac{T}{m_0} + \frac{JE}{m_0}\left(\frac{\pi k}{l}\right)^2}, \qquad (2)$$

где $T$ – натяжение пилы, Н; $m_0$ – распределенная масса, кг/м; $J$ – момент инерции, м$^4$; $E$ – модуль упругости, Па; $k$ – коэффициент, характеризующий соответствующую собственную частоту колебаний; $l$ – длина источника, м.

Подставив в формулу собственных частот колебаний значения модуля упругости, плотности, момента инерции, получим для пилы следующую зависимость:

$$f_k = \frac{k}{2l}\sqrt{2,2\cdot 10^7\left(\frac{\pi k}{l}\right)^2 + 1,3\cdot 10^{-4}\frac{T}{bh}}, \qquad (3)$$

где $b$ и $h$ – толщина и высота пилы соответственно, м.

Следовательно, для теоретического определения спектров шума, создаваемых звуковым излучением пилы, необходимо определить скорости колебаний на собственных частотах.

Дифференциальное уравнение изгибных колебаний имеет вид

$$\frac{\partial^2 y}{\partial t^2}+\frac{EJ}{m_0}\frac{\partial^4 y}{\partial x^4}-\frac{T}{m_0}\frac{\partial^2 y}{\partial x^2}=\frac{P}{m_0}\delta\left(x-x_0\right), \qquad (4)$$

где *P* – сила резания, Н; $\delta\left(x-x_0\right)$ – дельта функция, смещенная по координате.

Для расчета виброакустических характеристик пилы использован подход, развитый в работе [2] и основанный на представлении силы резания с использованием дельта-функции. В отличие от токарной, фрезерной, шлифовальной обработки (где сила резания перемещается вдоль заготовки) на ленточнопильных станках (несмотря на поступательное перемещение пилы) координаты приложения пилы усилий на каждом зубе остаются постоянными относительно мест закрепления пилы. Кроме этого, число зубьев в зоне резания изменяется. Поэтому фактически силу представим как сумму дельта функций. Изгибная жесткость пилы намного меньше жесткости опор. Поэтому краевые условия закрепления соответствуют жесткому защемлению. Решив дифференциальное уравнение (4) методом разделения переменных, получим выражение виброскоростей:

$$\frac{\partial y_1\left(x,t\right)}{\partial t}=-\frac{3}{2}\frac{P\frac{S}{t^*}}{m_0 l}\sum_{k=1}^{\infty}\frac{\sin^3\frac{\pi k l_1}{l}+\sin^3\frac{\pi k}{l}\left(l_1+t^*\right)+\ldots}{\frac{EJ}{m_0}\left(\frac{\pi k}{l}\right)^4+\frac{T}{m_0}\left(\frac{\pi k}{l}\right)^2-\left(\frac{S}{t^*}\right)^2}\sin\left[\frac{S}{t^*}t-\left(q-1\right)\frac{h}{t^*}\right];$$

$$\frac{\partial y_2\left(x,t\right)}{\partial t}=-\frac{P\frac{S}{t^*}}{2m_0 l}\sum_{k=1}^{\infty}\frac{\sin^3\frac{\pi k l_1}{l}+\sin^3\frac{\pi k}{l}\left(l_1+t^*\right)+\ldots}{\frac{EJ}{m_0}\left(\frac{3\pi k}{l}\right)^4+\frac{T}{m_0}\left(\frac{3\pi k}{l}\right)^2-\left(\frac{S}{t^*}\right)^2}\sin\left[\frac{S}{t^*}t-\left(q-1\right)\frac{h}{t^*}\right], \qquad (5)$$

где *S* – подача пилы, м/с; $t^*$ – шаг зубьев, м; *h* – ширина пропила (высота для вертикальнопильных станков), м; *q* – номер зуба в зоне резания.

Эти выражения в явной форме не учитывают диссипативную функцию, фактически определяемую эффективным коэффициентом потерь колебательной энергии. Для учета потерь колебательной энергии зададим модуль упругости в комплексной форме $\tilde{E}=E\left(1+i\eta\right)$.

С учетом этой зависимости выражения действительной части виброскорости примут вид:

$$\frac{\partial y_1\left(x,t\right)}{\partial t}=-1{,}5\frac{PS}{m_0 l t^*}\sum_{k=1}^{\infty}\frac{\left(\sin^3\frac{\pi k l_1}{l}+\sin^3\frac{\pi k}{l}\left(l_1+t^*\right)+\ldots\right)\left[\frac{EJ}{m_0}\left(\frac{\pi k}{l}\right)^4+\frac{T}{m_0}\left(\frac{\pi k}{l}\right)^2-\left(\frac{S}{t^*}\right)^2\right]}{\left[\frac{EJ}{m_0}\left(\frac{\pi k}{l}\right)^4+\frac{T}{m_0}\left(\frac{\pi k}{l}\right)^2-\left(\frac{S}{t^*}\right)^2\right]^2+\left(\eta\frac{EJ}{m_0}\right)^2\left(\frac{\pi k}{l}\right)^4}\times$$
$$\times\sin\left[\frac{S}{t^*}t-\left(q-1\right)\frac{2\pi}{t}\right]\cos\varphi;$$

$$\frac{\partial y_2\left(x,t\right)}{\partial t}=-0{,}5\frac{PS}{m_0 l t^*}\sum_{k=1}^{\infty}\frac{\left(\sin^3\frac{\pi k l_1}{l}+\sin^3\frac{\pi k}{l}\left(l_1+t^*\right)+\ldots\right)\left[\frac{EJ}{m_0}\left(\frac{3\pi k}{l}\right)^4+\frac{T}{m_0}\left(\frac{3\pi k}{l}\right)^2-\left(\frac{S}{t^*}\right)^2\right]}{\left[\frac{EJ}{m_0}\left(\frac{3\pi k}{l}\right)^4+\frac{T}{m_0}\left(\frac{3\pi k}{l}\right)^2-\left(\frac{S}{t^*}\right)^2\right]^2+\left(\eta\frac{EJ}{m_0}\right)^2\left(\frac{3\pi k}{l}\right)^4}\times$$
$$\times\sin\left[\frac{S}{t^*}t-\left(q-1\right)\frac{2\pi}{t}\right]\cos\varphi;$$

$$\varphi = \operatorname{arctg}\frac{\eta\frac{EJ}{m_0}\left(\frac{\pi k}{l}\right)^2}{\frac{EJ}{m_0}\left(\frac{\pi k}{l}\right)^4 + \frac{T}{m_0}\left(\frac{\pi k}{l}\right)^2 - \left(\frac{S}{t^*}\right)^2}. \qquad (6)$$

Для расчетов уровней шума практический интерес представляет максимальное значение уровней звукового давления и, соответственно, виброскорости. Поэтому следует определить максимальное значение величин $\frac{\partial y_1}{\partial t}$ и $\frac{\partial y_2}{\partial t}$ за время резания, т. е. при $0 \le t \le t_{рез}$, где $t_{рез}$ – время резания.

Виброскорость пилы на каждой собственной частоте колебаний определяется по формуле

$$V_k = \frac{\partial y_1}{\partial t}\max + \frac{\partial y_2}{\partial t}\max .$$

Для уровней звукового давления, создаваемых пилой, получено следующее выражение:

$$L_k = 20\lg\frac{P}{20\cdot 10^{-5}} = 20\lg V_k - 20\lg r + 10\lg khl + 5\lg\left[2,2\cdot 10^7\left(\frac{\pi k}{l}\right)^2 + 1,3\cdot 10^{-4}\frac{T}{bh}\right]. \qquad (7)$$

Дальнейшая процедура расчета сводится к следующему алгоритму:

- определяется спектр собственных частот колебаний пилы;
- определяется количество собственных частот колебаний, попадающих в соответствующие октавные полосы частот;
- на каждой собственной частоте колебаний определяются уровни звукового давления;
- по количеству собственных частот колебаний, попавших в соответствующую октавную полосу, определяются энергетическим суммированием усредненные по октаве уровни звукового давления по формуле

$$L_{окт} = 10\lg\sum_1^k 10^{0,1L_k} ,$$

где $k$ – количество собственных частот колебаний пилы, попавших в соответствующую октавную полосу.

Учет эффективного коэффициента потерь колебательной энергии позволяет решить задачу снижения шума в самом источнике его возникновения путем выбора рациональных параметров системы виброзащиты. Для этого в левую часть выражения (7) подставим предельно допустимые октавные уровни звукового давления и получим зависимость виброскоростей пилы, обеспечивающих выполнение санитарных норм шума:

$$\lg V_k = 0,05L_C + 20\lg r - 0,5\lg khl - 0,25\lg\left[2,2\cdot 10^7\left(\frac{\pi k}{l}\right)^2 + 1,3\cdot 10^{-4}\frac{T}{bh}\right]. \qquad (8)$$

На основе этой зависимости возможно осуществить выбор параметров системы виброзащиты, обеспечивающей выполнение санитарных норм шума.

**Заключение.** Полученные зависимости позволяют при проектировании ленточнопильных станков определить расчетным путем ожидаемые уровни шума, сравнить их с предельно допустимыми значениями и выявить частотные диапазоны, в которых наблюдаются превышения над санитарными нормами.

**Библиографический список**

1. Иванов Н.И. Основы виброакустики / Н.И. Иванов, А.С. Никифоров. – СПб.: Политехника, 2000. – 482 с.
2. Чукарин А.Н. Теория и методы акустических расчетов и проектирования технологических машин для механической обработки / А.Н. Чукарин. – Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2004. – 152 с.

Материал поступил в редакцию 24.06.11.

**References**

1. Ivanov N.I. Osnovy` vibroakustiki / N.I. Ivanov, A.S. Nikiforov. – SPb.: Politexnika, 2000. – 482 s. – In Russian.
2. Chukarin A.N. Teoriya i metody` akusticheskix raschyotov i proektirovaniya texnologicheskix mashin dlya mexanicheskoj obrabotki / A.N. Chukarin. – Rostov n/D: Izdatel`skij centr DGTU, 2004. – 152 s. – In Russian.

## MODELING OF THIN SAWS NOISE EMISSION

**A.A. AVAKYAN**
(Rostov State Transport University),
**A.E. LITVINOV**
(Don State Technical University),
**I.S. MOROZKIN**
(Rostov State Transport University)

*Noise level dependences of thin saws of the metal-cutting machines and woodworkers are resulted. It is shown that abatement of noise in the source can be achieved by the rational choice of the vibration cushioning specifications for the vibration protection systems.*
***Keywords:*** *noise, thin saws.*

## ГУМАНИТАРНЫЕ НАУКИ

УДК 101.8:37

# ФОРМИРОВАНИЕ ИДЕНТИЧНОСТИ В ПОЛИЭТНИЧЕСКОМ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОМ ПРОСТРАНСТВЕ: ВЫЗОВЫ МУЛЬТИКУЛЬТУРАЛИЗМА И ИСТОРИЧЕСКОЕ СОЗНАНИЕ

**В.В. БОГУСЛАВСКАЯ, Р.И. ХАНДОЖКО**
(Донской государственный технический университет)

*Освещена проблема формирования этнической идентичности в условиях современных глобализационных процессов. Анализируются исторические предпосылки различных стратегий национальной идентификации, их кризис во 2-й половине XX века, появление доктрины мультикультурализма как ответ на возрастающую этническую сегментацию западных обществ. В качестве ключевого инструмента формирования идентичности рассматривается влияние на историческое сознание через преподавание гуманитарных дисциплин.*
***Ключевые слова:*** *мультикультурализм, идентичность, идентификация, историческое сознание, историческая память, межкультурная коммуникация, полиэтническое образовательное пространство.*

**Введение.** Сегодня, как никогда раннее, стремительные перемены происходят в философии и методологии образования. Меняются приоритеты, понятие и содержание образования, образовательные системы, технологии.

Перемены связаны с чрезвычайно уплотненным, насыщенным событиями историческим временем – временем быстрых и часто спонтанных перемен, временем широкомасштабных технологических инноваций, социальных, национальных кризисов и конфликтов, глобальных сдвигов и потрясений.

В ответ на возникновение новых социокультурных реалий: глобализацию и интернационализацию мира, процессы этнокультурного самоопределения, проблемы мультикультурного общества и миграции – мировая педагогическая мысль разрабатывает соответствующую образовательную стратегию, что отражено в документах ООН, Совета Европы, ЮНЕСКО, ОМЕП и т.д.

В этих условиях поликультурность играет роль одной из ведущих педагогических стратегий современного образования. Вариативность, диалогизм, свобода принятия решений, уважение личности, реалистичность – данные принципы становятся приоритетными в условиях полифонического (полиэтнического) взаимодействия концептосфер представителей разных культур – субъектов образовательного процесса в полиязыковом образовательном пространстве.

От понятий «образовательное пространство» и «образовательная среда» неотделимы понятия «поликультурное (полиэтническое) образовательное пространство» и «поликультурное воспитание», этимологически восходящие к понятию «этнокультурное образование». По определению Т.К. Солодухиной, этнокультурное образование есть «взаимодействие культуры и образования, основанное на ценностях этнических культур и педагогических достижений народов» [1, с. 45]. Полиэтническая среда выступает способом существования, деятельности и общения людей различных наций и народностей. Согласно современным подходам, полиэтническая среда объединяет материальные и духовные факторы жизнедеятельности различных народов в определенных конкретно-исторических и географических условиях, в определенном социальном пространстве и времени. Фактически она образует непосредственное окружение, в котором личность развивает свое отношение к миру и другим людям, формирует свою культуру и самосознание.

В указанных областях предполагается учёт культурных и воспитательных интересов разных этнических групп. Предусматривается, в частности, адаптация студентов к различным культурным ценностям и традициям, ориентация на диалог культур. В то же время стоит проблема сохранения особой этнической идентичности.

**Постановка задачи.** Целью данной статьи является анализ механизмов формирования социальной идентичности в полиэтническом образовательном пространстве. Основное внимание уделяется взаимосвязям между теоретическими моделями межкультурной коммуникации, существующими в современном публичном дискурсе (такими как ассимиляция, аккультурация, мультикультурализм), и практическими задачами педагогического процесса в условиях предвузовской подготовки иностранных студентов. При этом в качестве базового механизма формирования идентичности рассматривается воздействие на историческое сознание в рамках преподавания дисциплин гуманитарного цикла.

**Социальная и этническая идентичность: понятие, виды, механизмы формирования.** Характерные черты новейшей истории – ускорение исторического времени, появление коммуникаций, связывающих отдаленные уголки земного шара – обострили проблему осознания человеком собственной идентичности и поставили его перед лицом постоянной необходимости восприятия «другого». Непрерывно изменяющийся современный мир требует от государств, обществ, индивидов постоянного осознания новых реальностей, соотнесения их с собственным опытом, уточнения своей тождественности во вновь заданных параметрах. По мнению С.Н. Яременко, «в глобализирующемся мире способность к мобильности становится ключевой цивилизационной характеристикой личности. Преодоление пространства и времени с помощью техники способствует транснационализации биографии и места жительства» [2,с. 88]. При этом «избыточность информационных ресурсов выступает одной из причин зыбкости процесса личностной идентификации» [2, с. 93].

Возможно, именно инстинкт самосохранения человека в стремительно меняющемся мире привел к возникновению и столь широкому распространению крайне правых, националистических идеологий в XX веке. Но вслед за победой над фашизмом во Второй мировой войне изоляционизм и ксенофобия в странах Запада были вытеснены на окраину политического дискурса. Зеленый свет получили идеи толерантности, политкорректности, учета интересов меньшинств. В этих условиях обострился интерес к проблемам идентичности и идентификации как в научных исследованиях, так и в политической практике. При этом если термин «идентичность» используется как относительно устойчивая категория самовосприятия, то понятие «идентификация» обозначает непрерывный процесс формирования, выстраивания той или иной идентичности [3,с. 6].

Изначально концепт «идентичность» возник и развивался в контексте психологических исследований (Э. Эриксон), обозначая целостность личности, тождественность и непрерывность человеческого «Я». Однако затем термин перекочевал в социальные науки, поскольку оказался чрезвычайно удобным для новой постмодернистской парадигмы, в рамках которой внимание исследователей переключилось с реальных феноменов на их репрезентации и отражение в индивидуальном и коллективном сознании. В результате взгляд на идентичность как на отличительное свойство личности, приобретаемое в ходе развития и социализации, сменился представлением об идентичности как ключевом признаке социальных групп. Контекст употребления понятия сместился от эго-идентичности к различным формам этнической, гражданской, региональной идентичности, которые объединяют людей, осознающих свою принадлежность к той или иной группе. При этом в качестве ключевой формы идентичности в современном мире, как правило, рассматривается этническая идентичность – как важнейшая разновидность социальной. Значительный интерес и теоретическую значимость представляют также попытки «вертикального» членения идентичности, в зависимости от уровня общности, с которой в первую очередь ассоциирует себя

человек. Так, в европейском контексте используется ранжирование национальной, региональной и европейской идентичности [3,с. 8].

Как же формируется этническая идентичность в социальном пространстве? Среди существующих подходов к этой проблеме можно выделить несколько базовых. Первый исходит из установки присутствия некоторых констант, базовых ценностей и черт национального характера, которые существенно не меняются на протяжении исторического развития. Вторая точка зрения опирается на идею возможности обретения принципиально новой идентичности взамен национальной, которая в условиях глобализации испытывает кризис. Речь идет о «цивилизационной» или региональной (паневропейской, паназиатской) идентичностях. Третья точка зрения основана на постмодернистском подходе, который вводит понятие множественной идентичности. Рассматривая человека как постоянно трансформирующееся существо, отрицая наличие в его менталитете устойчивых опорных основ, постмодернистский подход отрицает возможность наличия единой идентичности [4]. Концепция идентичности некоторыми учеными рассматривается в одной связке с другими новаторскими идеями, составляющими, в частности, идеологию глобализма, в которой заложен конфликт с присущим сегодня государствам и народам стремлением сохранить национально-культурную самобытность.

Как правило, четко выраженная идентичность присутствует в стабильных обществах, в условиях упорядоченной социально-политической реальности. В тех условиях, где рушатся устойчивые социальные связи, возникает кризис идентичности, активирующий поиски новой тождественности. Опыт показывает, что значительное влияние на этот процесс оказывает государство. При этом важнейшим инструментом воздействия выступает моделирование паттернов *массового исторического сознания* средствами образования и культуры. В первую очередь это относится к национальной, государственной и коллективной идентичностям.

**Национально-государственное строительство и формирование идентичности.** Современное состояние идентификационных процессов в мире, географическое распределение основных моделей этнической идентификации напрямую связаны с историческими особенностями возникновения современных государств. Применительно к государствам Запада принято выделять несколько базовых путей их формирования. Первый путь – конструирование национального государства по принципу «один народ, один язык, одно государство» (Франция, Германия, Италия и т. д.). В этих странах в Новое время произошла унификация идентичности силами государства через распространение книгопечатания, создание единого литературного языка, введение всеобщего образования на этом языке. Различные вариации национальной культуры были успешно ассимилированы более сильными, доминантными. В дальнейшем данные государства развивались по пути формирования морских империй, сохраняя более-менее изолированное монокультурное ядро – метрополию.

Второй путь – «нации иммиграции»: США, Канада, Австралия. Эти государства изначально формировались по принципу «плавильного котла» из иммигрантов-европейцев. Здесь шел постоянный процесс конструирования общей идентичности через ассимиляцию вновь прибывших мигрантов.

Оба пути предполагали существование монокультурных обществ. Однако был также третий вариант – континентальные империи (Российская, Османская, Австро-Венгерская), в которых шло непрерывное сложное взаимодействие между доминирующими народами и входившими в подчинение окраинами. Хотя имперский центр мог использовать механизмы ассимиляции и даже содействовать формированию национальной идентичности у покоренных народов, чаще всего стратегия межнационального взаимодействия имела вид аккультурации – усвоения культурных моделей, языка, правил и норм сосуществования без потери собственной идентичности [5, с. 58-59].

**Доктрина мультикультурализма – ответ на вызовы глобализации.** Начиная с 1970-х годов в государствах с монокультурными моделями начали развиваться кризисные явления. Распад ко-

лониальной системы, демографический взрыв в странах третьего мира, демографический переход в развитых странах и связанная с ним деформация рынка труда вызвали масштабную трудовую иммиграцию. Европа была заинтересована в дешевой рабочей силе, но оказалась не способна ассимилировать большое количество мигрантов.

В ответ на массовую иммиграцию возникло несколько стратегий, помогающих сохранить общественную стабильность в новых условиях. Так, во Франции была предпринята попытка реализовать модель гражданской нации, в которой этнокультурные различия не должны иметь определяющего значения. В Германии же проявилась тенденция воспринимать трудовых мигрантов как временное явление, не затрагивающее основ социального миропорядка.

Невозможность и обоюдное нежелание справиться с возрастающими культурными различиями привели к появлению и распространению идеологии мультикультурализма, в которой постулируется принцип сосуществования разных языков, культур, традиций, развития и сохранения культурных различий в рамках отдельных стран и мира в целом. Мультикультурализм противоположен концепции «плавильного котла», нацеленной на тотальную ассимиляцию, слияние всех культур в одну. В современной Европе главным практическим аспектом мультикультурализма стала ориентация на равноправное включение в её культурное поле элементов культур иммигрантов.

Государства иммиграционного типа в этот период также испытали сложности с формированием общей идентичности. Если изначальное ядро нации в США, Австралии, Канаде составляли люди европейского происхождения, чьи культурные модели были достаточно близки, то увеличение числа переселенцев из Азии, Африки, арабского мира поставило под вопрос ассимиляционные возможности «плавильного котла». Набиравшая силу борьба за права меньшинств также стимулировала создание внутренних культурных барьеров. Более того, стали развиваться процессы диссимиляции внутри групп собственно европейского происхождения. Не случайно доктрина мультикультурализма впервые была сформулирована в Канаде, где франкофонное и англофонное население так и осталось разделено [6]. В 1970-1990-х годах доктрина мультикультурализма приобрела статус официальной идеологии в таких странах, как Швеция, Австралия, Канада.

**Критика мультикультурализма.** В конце 1990-х – 2000-е годы проявились негативные последствия воплощения в жизнь доктрины мультикультурализма. Среди них:

- распространение экстремистских настроений в среде мигрантов;
- формирование социально, культурно- и экономически замкнутых диаспоральных анклавов;
- отсутствие у мигрантов желания, возможностей и необходимости усваивать принципы сосуществования, нормы правовой культуры, язык страны проживания;
- превращение мигрантов в самостоятельную политическую силу;
- рост влияния среди коренного населения крайне правых политических сил, использующих антииммигрантские лозунги.

В 2008-2011 годах европейские политические элиты поставили под сомнение эффективность практики мультикультурализма. Председатель Бундесбанка Тило Сарацин выпустил книгу «Германия самоликвидируется», где предрек скорую гибель государства в результате неконтролируемой иммиграции [7]. Совет Европы попытался предложить новую интеграционную доктрину – «межкультурный диалог». Эта доктрина была сформулирована в «Белой книге по межкультурному диалогу», представленной СЕ в 2008 году. Европейские чиновники предложили видоизменить мультикультурализм, не отказываясь от его гуманистической основы, но добавив к этой концепции необходимость интеграции не просто групп, а каждого конкретного иммигранта в принимающее сообщество [8]. Наконец, в конце 2010 – начале 2011 годов серия заявлений с критикой мультикультурализма прозвучала из уст европейских лидеров: федерального канцлера Германии Ангелы Меркель, премьер-министра Великобритании Дэвида Кэмерона, президента Франции Ни-

коля Саркози и других. «Следуя доктрине государственного мультикультурализма, мы способствовали тому, чтобы различные культуры жили самостоятельной жизнью, отдельно друг от друга и вне магистрального направления культуры. Мы не предложили им видение общества, к которому они хотели бы принадлежать. Мы относились толерантно к этим изолированным сообществам, поведение которых полностью противоречило нашим ценностям», – заявил Дэвид Кэмерон [9].

Критическое переосмысление устоявшейся модели восприятия этнических меньшинств в Европе стало пунктом широкой общественной дискуссии как на внутринациональном, так и на международном уровне. Идеологические сдвиги в Европе вызвали реакцию и со стороны руководства России. Президент Дмитрий Медведев на заседании президиума Государственного совета в Уфе 11 февраля 2011 года поставил под сомнение инициативы европейских лидеров: «В Европе стало модно говорить о крахе политики мультикультурализма... Я считаю, что для нашей страны это было бы весьма существенным упрощением, несмотря на колоссальную роль, которую имеет русская культура…» [10].

Стоит отметить, что исторические особенности складывания российской национально-государственной идентичности делают нашу страну менее уязвимой к разрушительным вызовам глобализации. Длительный период тесного соприкосновения с иными культурами сформировал особую модель мягкой аккультурации, реализация которой во многом и была целью теоретиков мультикультурализма.

Не все согласны на отказ от мультикультурализма и в самой Европе. Так, нидерландский исследователь Марха Валента отмечает, что «в континентальной Европе не было серьезных попыток по реализации всеобъемлющей политики вмещения нового культурного и религиозного плюрализма» и сам мультикультурализм ещё только предстоит создать. Она критикует миф о старой, монокультурной Европе, называя такие представления «плохой памятью» [11]. Действительно, современные тенденции исторического знания не оставляют места для замкнутых национальных историй: всё прошлое Европы Нового времени интерпретируется как история межкультурного взаимодействия в ходе колонизаций и внутренних войн. Сегодня же те конфликты и движущие силы, которые всегда вертели колесо всемирной истории, переместились внутрь европейских политических границ.

**Историческое сознание и историческая память как инструменты формирования идентичности.** Историческое сознание является важным фактором межкультурного взаимодействия. Как отмечает И.Л. Мерзлякова, «в основе формирования межкультурной коммуникации лежат исторические представления, знания, социальный опыт и ценности, которые накапливаются и сохраняются в историческом сознании представителей разных культур. Исключить ситуации непонимания и добиться положительных результатов межкультурных коммуникаций возможно лишь с помощью знания особенностей исторического процесса, его оценок и ценностных ориентаций представителей других культур» [12, с. 766].

Важнейшим инструментом конструирования групповой идентичности является моделирование исторического сознания членов группы через трансляцию представлений об общем прошлом, выстраивание символического ряда наиболее значимых исторических событий, создание «пантеона» героев и историографического канона. Способы и механизмы такого конструирования обстоятельно изложены в научной литературе (работы П. Нора, Ю. Хабермаса, В.А. Тишкова и др.). Это монументальная пропаганда, создание и поддержание «мест памяти», использование СМИ и массовой культуры, наконец, педагогические практики.

Анализ функционирования «больших» исторических нарративов, которые выступают основой идентичности в национальных государствах, до сих пор является важным направлением исследований современных обществ. Эта тема приобрела особую актуальность в перспективе распада колониальной системы во 2-й половине XX века, процессов национально-государственного строительства в Восточной Европе после 1991 года.

Новейшая практика конструирования национальных нарративов широко обсуждается в контексте проблем российско-украинских, российско-польских, польско-украинских отношений. При этом большое значение уделяется формированию «образа другого» в учебниках истории и образовательных программах [13].

**Историческое образование в мультикультурном обществе.** Вместе с тем, вопросы трансформации исторического образования в контексте мультикультурного общества в отечественной, да и мировой науке пока остаются слабо разработанными. Какой образ прошлого можно считать адекватным и приемлемым в интернациональной образовательной среде? Очевидно, что это не может быть национальный исторический нарратив, оставленный в неизменном виде. Вектор научно-методического поиска следует направить в сторону интегральных, глобальных историографических парадигм.

Сегодня одной из точек бурного развития подобных идей является европейское образовательное пространство, в рамках которого предпринимаются систематические попытки написания «общеевропейской» истории, или, по крайней мере, улаживания наиболее проблематичных точек общего прошлого (совместные франко-немецкие, польско-украинские и другие проекты). Однако строители «Европейского дома» пока недостаточно учитывают неевропейскую компоненту современного европейского общества, представленную растущим числом мигрантов из Африки, Ближнего Востока, Азии, дети которых испытывают серьезные проблемы в усвоении европейских культурных образцов. Несмотря на активную работу межправительственных программ (Евро-Средиземноморское партнёрство) и общественных организаций (Фонд диалога культур и цивилизаций), на данный момент вопрос о внедрении инокультурных (в частности, арабских) компонент в образовательный процесс в Европе остается скорее поводом к ожесточенным баталиям, чем к реальной работе. Различные проекты вроде «Eurabia» вызывают агрессивное раздражение у многих наблюдателей и экспертов, несмотря на конструктивные планы совместной работы над учебниками европейских и арабских историков.

В какой-то степени образец формирования мультикультурной образовательной стратегии предлагают США. Уже в начале 1990-х годов состоялись бурные дискуссии о необходимости отказа от доминирования культуры wasp'ов (White Anglo-Saxon Protestant (англ.) – белые англосаксонские протестанты) в образовательных программах по истории и литературе. Так, литературовед Грегори Джей выступил с серией статей, в которых обосновал идею «конца американской литературы» и необходимости использования мультикультурного подхода при составлении учебных курсов. Согласно Джею, американская литература должна быть переосмыслена как литература различных этнокультурных групп, проживающих в Соединенных Штатах, чтобы вместо трансляции одной общепринятой модели инициировать всеобщий поликультурный диалог [14, 15].

**Формирование исторического сознания студентов в полиэтническом образовательном пространстве российского вуза.** Мультикультурализм в его российской версии обладает рядом специфических черт, отличающих ситуацию в России от европейской и американской. Каким должно быть историческое образование в полиэтнической образовательной среде российского вуза? Эта проблема имеет несколько аспектов.

С одной стороны, историческое сознание формируется в пространстве конкуренции национальных нарративов внутри страны (кроме российского, свои проекты видения прошлого предлагают интеллектуальные элиты Чечни, Дагестана, Северной Осетии, Татарстана, Башкирии и других национальных образований) [16, 17]. С другой стороны, Россия является крупнейшим полигоном международного образования, и в этой связи сталкивается с теми же проблемами, что США и Европа. Этот аспект является актуальным и для ДГТУ как одного из центров подготовки иностранных студентов на юге России.

Опыт преподавания гуманитарных дисциплин в ходе предвузовской подготовки иностранных студентов на международном факультете ДГТУ свидетельствует о необходимости тщательной

проработки программ по истории, географии и страноведению с целью выработки сбалансированного подхода к репрезентации ключевых общественно-политических, исторических, цивилизационных проблем. На наш взгляд, результатом изучения данных дисциплин должно быть достижение следующих целей:

- формирование комплексных представлений о мировой истории и общественном развитии, свободных от национальных, государственных, цивилизационных стереотипов;
- формирование толерантного отношения к другим культурам и их представителям через осмысление проблемных точек общего прошлого и настоящего, а не их игнорирование и замалчивание;
- формирование уважительного отношения к российской истории через осознание места России в глобальном мировом развитии, усвоение её цивилизационных особенностей.

В рамках изучения России и её истории на подготовительном факультете для иностранных студентов данные цели могут быть достигнуты с использованием таких методологических парадигм, как «новая глобальная история» [18], «entangledhistory», «мир – системный анализ». Эти модели могут весьма эффективно заменить всё ещё сохраняющиеся в отечественном гуманитарном образовании следы формационных схем марксизма.

Согласно И.Н. Ионову, «возникающая на наших глазах в 1990–2000-е гг. новая глобальная (интернациональная) история, являющаяся одним из факторов процесса «глокализации»... универсализирует черты истории отдельных стран и международных отношений, вводит их в глобальный контекст» [19,с. 33]. Новая глобальная история является не продолжением европоцентрической и экономцентрической универсальной истории, а стремится показать мир в его сложных связях.

Такой ракурс (идентичность – глобализация) особенно актуален для сегодняшней Африки, которая предпринимает усилия, чтобы войти в глобализирующееся мировое сообщество полноправным участником и отстоять при этом свою социокультурную идентичность. В этой связи использование разработок «новой глобальной истории» может быть продуктивно при работе со студентами из Африканского региона, «отличающегося чрезвычайной сложностью, переплетением различных общественных тенденций, спецификой, понимание которой в значительной степени искажено устоявшимся европоцентристским подходом» [20,с. 50].

**Выводы.** Основной идеей концепции формирования идентичности в полиэтническом образовательном пространстве является приобщение (в том числе через историческое сознание) к мировым гуманистическим ценностям (прав человека, свобод, плюрализма, демократии) и воспитание толерантного отношения к культурам, отличным от собственной – к этнодифференцирующим факторам, к которым относятся язык, ценности и нормы, историческая память, религия, представления о родной земле, миф об общих предках, национальный характер, народное и профессиональное искусство и т.п. [21–25].

Особенно остро стоит проблема построения дидактической модели инокультуры, так как сегодня иноязычное образование ориентировано на межкультурное общение. Дидактическая модель инокультуры должна в функциональном плане замещать реальную систему культуры и её главное назначение – позволить студенту (учащемуся) «проникнуть» в ментальное пространство народа – носителя изучаемого языка и таким образом преодолеть культурную изолированность.

Неправильно формирующийся опыт межэтнического общения в полиэтнических общностях в условиях современных катаклизмов может привести к отчуждению, что определяется сложностью этнического самосознания, например, этнические знания могут быть недостаточными или неактуальными для личности.

К позитивным моментам включения в полиэтническое образовательное пространство можно отнести появление возможности межкультурной коммуникации, которая рассматривается как особая форма коммуникации, возникающая в условиях разделения людей «на представителей своей

и чужой культуры». Межэтническое общение в иноязычной (поли-, билингвальной) образовательной среде расширяет возможности субъекта в приобретении знаний о «своей и чужой» культурах. В целом данный процесс способствует развитию межэтнического понимания и формированию толерантных навыков межэтнического общения и содействует формированию самоидентичности личности. По сути, этническая идентичность является своеобразной «нормой» в построении межэтнических контактов.

Несмотря на разнообразие позиций в отношении особенностей формирования идентичности, общепринятым является признание того, что идентичность находится под влиянием определенных социокультурных условий и формируется в процессе социализации личности при активном приобщении к общечеловеческим, инокультурным, этническим ценностям, традициям. В полиэтническом образовательном пространстве в контексте определенной культуры происходит приобщение к традициям, поиск «своих» ценностей, формирование характера и мировоззрения – происходит развитие человека как личности.

**Библиографический список**

1. Солодухина Т.К. Этнокультурное образование русских школьников в полиэтническом регионе (На материале Республики Бурятия): дис. ... д-ра пед. наук. / Т.К. Солодухина // М., 2005.

2. Яременко С.Н. Иллюзии идентичности человека / С.Н. Яременко // Вестн. Донск. гос. техн. ун-та. – 2009. – Т. 9. – № 2 (41). – С. 344–355.

3. Шаншиева Л.Н. Введение / Л.Н. Шаншиева // Страны Восточной Европы в поисках новой идентичности: сб. науч. тр. – М.: ИНИОН РАН, 2006. – С. 5–9.

4. Скородумова О.Б. Национально-культурная идентичность в России в условиях становления информационного общества / О.Б. Скородумова // Электронный журнал «Знание. Понимание. Умение». – 2010. – № 4.

5. Миллер А.И. Империя Романовых и национализм: Эссе по методологии исторического исследования / А.И. Миллер. – М.: Новое литературное обозрение, 2008. – 248 с.

6. Wayland S.V. Immigration, Multiculturalism and National Identity in Canada / S.V. Wayland // International Journal on Group Rights. – 1997. – №. 5. – P. 33–58.

7. Sarrazin T. Deutschland schafftsich ab. WiewirunserLandaufs Spiel setzen / T. Sarrazin. – München: Deutsche Verlags-Anstalt, 2010. – 464 S.

8. Информационный центр Совета Европы. Белая книга по межкультурному диалогу: Жить вместе в равном достоинстве. [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: http://www.coe.ru/publication/epublication/ebook/whitepaper_russian.pdf (дата обращения: 02.06.2011).

9. The official site of the Prime Minister's Office. PM's speech at Munich Security Conference. [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: http://www.number10.gov.uk/news/speeches-and-transcripts/2011/02/pms-speech-at-munich-security-conference-60293 (дата обращения: 02.06.2011).

10. Президент России: сайт. Заседание президиума Госсовета о мерах по укреплению межнационального согласия. [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: http://state.kremlin.ru/state_council/10312 (дата обращения: 02.06.2011).

11. Valenta M. Multiculturalism and the politics of bad memories // Open Democracy: Free Thinking for the World. [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: http://www.opendemocracy.net/markha-valenta/multiculturalism-and-politics-of-bad-memories (дата обращения: 02.06.2011).

12. Мерзлякова И.Л. Роль исторического сознания в процессе межкультурной коммуникации / И.Л. Мерзлякова // Вестн. Донск. гос. техн. ун-та. – 2009. – Т. 9. – № 4(43). – С. 763–766.

13. Образ Іншого в сусідніх історіях: міфи, стереотипии, науковіінтерпретації (Матеріали міжнародноїнаукової конференції, Київ, 15-16 грудня 2005 року) / Упорядникі наук. ред. Г.В. Касьянов. – Київ: НАН України, Інститутісторії України, 2008. – 264 с.

14. Jay G.S. The End of "American" Literature: Toward a Multicultural Practice / G.S. Jay // College English. – 1991. – Vol. 53.– № 3. – P. 264–281.

15. Jay G.S. Taking Multiculturalism Personally: Ethnos and Ethos in the Classroom / G.S. Jay // American Literary History. – 1994. – Vol. 6. – № 4. – P. 613–632.

16. Шнирельман В.А. Очарование седой древности: Мифы о происхождении в современных школьных учебниках / В.А. Шнирельман // Неприкосновенный запас. – 2004. – №5 (37). – С. 79–87.

17. Шнирельман В.А. «Патриотическое воспитание»: этнические конфликты и школьные учебники истории / В.А. Шнирельман // Расизм в языке образования. – СПб.: Алетейя, 2008. – С. 88–114.

18. Mazlish B. The New Global History / B. Mazlish. – New York: Routledge, 2006. – 144 p.

19. Ионов И.Н. Новая глобальная история и постколониальный дискурс / И.Н. Ионов // История и современность. – 2009. – № 2. – С. 33–60.

20. Высоцкая Н.И. Африка в поисках идентичности / Н.И. Высоцкая // Восток (Oriens). – 2005. – №3. – С. 50–60.

21. Бромлей Ю.В. Очерки теории этноса / Ю.В. Бромлей. – М.: Наука, 1983.

22. Кадацких И.Ю. Особенности этнокультурного Я в структуре самосознания личности студентов / И.Ю. Кадацких // Вестник Костромского государственного университета им. Н.А. Некрасова. – Кострома, 2008. – Т.14. (Серия: Педагогика. Психология. Ювенология. Социокинетика). – №3. – С.191-196.

23. Солдатова Г.У. Психология межэтнической напряженности / Г.У. Солдатова. – М.: Смысл, 1998. – 389с.

24. Стефаненко Т.Г. Методы исследования этнических стереотипов / Т.Г. Стефаненко. – М., 1993.

25. Афанасьева А.Б. Реализация структурной модели этнокультуры в современном российском этнокультурном образовании // Реальность этноса. Педагогическое образование как важнейший фактор сохранения и развития культуры северных народов. Мат-лы IX Междунар. науч.-практ. конф. / Под науч. рук. П.Л. Набока. – СПб., 2007.

Материал поступил в редакцию 19.09.11.

**References**

1. Soloduxina T.K. E`tnokul`turnoe obrazovanie russkix shkol`nikov v polie`tnicheskom regione (Na materiale Respubliki Buryatiya): dis. ... d-ra ped. nauk. / T.K. Soloduxina // M., 2005. – In Russian.

2. Yaryomenko S.N. Illyuzii identichnosti cheloveka / S.N. Yaryomenko // Vestn. Donsk. gos. texn. un-ta. – 2009. – T. 9. – # 2 (41). – S. 344–355. – In Russian.

3. Shanshieva L.N. Vvedenie / L.N. Shanshieva // Strany` Vostochnoj Evropy` v poiskax novoj identichnosti: sb. nauch. tr. – M.: INION RAN, 2006. – S. 5–9. – In Russian.

4. Skorodumova O.B. Nacional`no-kul`turnaya identichnost` v Rossii v usloviyax stanovleniya informacionnogo obshhestva / O.B. Skorodumova // E`lektronny`j zhurnal «Znanie. Ponimanie. Umenie». – 2010. – # 4. – In Russian.

5. Miller A.I. Imperiya Romanovy`x i nacionalizm: E`sse po metodologii istoricheskogo issledovaniya / A.I. Miller. – M.: Novoe literaturnoe obozrenie, 2008. – 248 s. – In Russian.

6. Wayland S.V. Immigration, Multiculturalism and National Identity in Canada / S.V. Wayland // International Journal on Group Rights. – 1997. – # 5. – P. 33–58.

7. Sarrazin T. Deutschland schafft sich ab. Wie wir unser Land aufs Spiel setzen / T. Sarrazin. – München: Deutsche Verlags-Anstalt, 2010. – 464 S.

8. Informacionny`j centr Soveta Evropy`. Belaya kniga po mezhkul`turnomu dialogu: Zhit` vmeste v ravnom dostoinstve. [E`lektron. resurs]. – Rezhim dostupa: http://www.coe.ru/publication/epublication/ebook/whitepaper_russian.pdf (data obrashheniya: 02.06.2011). – In Russian.

9. The official site of the Prime Minister's Office. PM's speech at Munich Security Conference. [Electronic resource]. – URL: http://www.number10.gov.uk/news/speeches-and-transcripts/2011/02/pms-speech-at-munich-security-conference-60293 (date of access: 02.06.2011).

10. Prezident Rossii: sajt. Zasedanie prezidiuma Gossoveta o merax po ukrepleniyu mezhnacional`nogo soglasiya. [E`lektron. resurs]. – Rezhim dostupa: http://state.kremlin.ru/state_council/10312 (data obrashheniya: 02.06.2011). – In Russian.
11. Valenta M. Multiculturalism and the politics of bad memories / M. Valenta // Open Democracy: Free Thinking for the World. [Electronic resource]. – URL: http://www.opendemocracy.net/markha-valenta/multiculturalism-and-politics-of-bad-memories (date of access: 02.06.2011).
12. Merzlyakova I.L. Rol` istoricheskogo soznaniya v processe mezhkul`turnoj kommunikacii / I.L. Merzlyakova // Vestn. Donsk. gos. texn. un-ta. – 2009. – T. 9. – # 4(43). – S. 763–766. – In Russian.
13. Obraz Inshogo v susidnix istoriyax: mify`, stereoty`py`, naukovi interpretaciyi (Materialy` mizhnarodnoyi naukovoyi konferenciyi, Ky`yiv, 15-16 grudnya 2005 roku) / Uporyadny`k i nauk. red. G.V. Kas`yanov. – Ky`yiv: NAN Ukrayiny`, Insty`tut istoriyi Ukrayiny`, 2008. – 264 s. – In Ukrainian.
14. Jay G.S. The End of "American" Literature: Toward a Multicultural Practice / G.S. Jay // College English. – 1991. – Vol. 53. – # 3. – P. 264–281.
15. Jay G.S. Taking Multiculturalism Personally: Ethnos and Ethos in the Classroom / G.S. Jay // American Literary History. – 1994. – Vol. 6. – # 4. – P. 613–632.
16. Shnirel`man V.A. Ocharovanie sedoj drevnosti: Mify` o proisxozhdenii v sovremenny`x shkol`ny`x uchebnikax / V.A. Shnirel`man // Neprikosnovenny`j zapas. – 2004. – #5 (37). – S. 79–87. – In Russian.
17. Shnirel`man V.A. «Patrioticheskoe vospitanie»: e`tnicheskie konflikty` i shkol`ny`e uchebniki istorii / V.A. Shnirel`man // Rasizm v yazy`ke obrazovaniya. – SPb.: Aletejya, 2008. – S. 88–114. – In Russian.
18. Mazlish B. The New Global History / B. Mazlish. – New York: Routledge, 2006. – 144 p.
19. Ionov I.N. Novaya global`naya istoriya i postkolonial`ny`j diskurs / I.N. Ionov // Istoriya i sovremennost`. – 2009. – # 2. – S. 33–60. – In Russian.
20. Vy`soczkaya N.I. Afrika v poiskax identichnosti / N.I. Vy`soczkaya // Vostok (Oriens). – 2005. – #3. – S. 50–60. – In Russian.
21. Bromlej Yu.V. Ocherki teorii e`tnosa / Yu.V. Bromlej. – M.: Nauka, 1983. – In Russian.
22. Kadaczkix I.Yu. Osobennosti e`tnokul`turnogo Ya v strukture samosoznaniya lichnosti studentov / I.Yu. Kadaczkix // Vestnik Kostromskogo gosudarstvennogo universiteta im. N.A. Nekrasova. – Kostroma, 2008. – T.14. (Seriya: Pedagogika. Psixologiya. Yuvenologiya. Sociokinetika). – #3. – S. 191-196. – In Russian.
23. Soldatova G.U. Psixologiya mezhe`tnicheskoj napryazhyonnosti / G.U. Soldatova. – M.: Smy`sl, 1998. – 389 s. – In Russian.
24. Stefanenko T.G. Metody` issledovaniya e`tnicheskix stereotipov / T.G. Stefanenko. – M., 1993. – In Russian.
25. Afanas`eva A.B. Realizaciya strukturnoj modeli e`tnokul`tury` v sovremennom rossijskom e`tnokul`turnom obrazovanii // Real`nost` e`tnosa. Pedagogicheskoe obrazovanie kak vazhnejshij faktor soxraneniya i razvitiya kul`tury` severny`x narodov. Mat-ly` IX Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. / pod nauch. ruk. P.L. Naboka. – SPb., 2007. – In Russian.

## IDENTITY CONSTRUCTION IN POLYETHNIC EDUCATIONAL ENVIRONMENT: CHALLENGES OF MULTICULTURALISM AND HISTORICAL CONSCIOUSNESS

**V.V. BOGUSLAVSKAYA, R.I.KHANDOZHKO**
(Don State Technical University)

*The matter of the ethnic identity construction is considered in the modern globalization processes. The historical background for various strategies of the national identification, their crisis in the second part of the 20th century, the uprise of the multiculturalism doctrine as an answer to the growing ethnic segmentation of the western societies are analyzed. Influence on the historical consciousness through the humanitarian disciplines teaching is considered as the key instrument of the identity construction.*
***Keywords:*** *multiculturalism, identity, identification, historical consciousness, historical memory, intercultural communication, polyethnic educational environment.*

УДК 130.2.796

# АГОН КАК ИММАНЕНТНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА КУЛЬТУРЫ ДРЕВНЕЙ ГРЕЦИИ

**Е.Я. РЕЖАБЕК**
(Южный федеральный университет),
**М.А. БОГДАНОВА**
(Педагогический институт Южного Федерального университета)

*В статье защищается тезис об агональности как фундаментальной характеристике древнегреческой культуры. Состязательность проникает во все сферы социальной жизни, выступая системообразующим принципом существования греческого общества. Обретение спортивной агональностью высокого статуса связано с особенностями греческой когнитивности.*
***Ключевые слова:*** *спортивная агональность, агон, Олимпийские игры.*

**Введение.** Одним из самых ярких общественных форумов в мире, привлекающим внимание наибольшего числа людей на планете Земля, являются Олимпийские Игры. Всем известно, что родоначальниками Олимпийских Игр были греки. Но необходимо отметить, что сами греки не использовали такое древнейшее понятие, как *«игры»,* для обозначения своих спортивных праздников, они называли (и называют по сей день) свои состязания-праздники *агонами.*

Целью данной работы является раскрытие агональности как фундаментальной характеристики античной культуры и уяснение причин, почему именно спортивному агону придавалось такое беспрецедентно высокое значение.

**Агон как системообразующий принцип древнегреческой культуры.** К сожалению, история не сохранила данных о том, какими были самые первые эллинские агоны. Однако достоверно известно, что первые эллинские гимнические агоны, то есть музыкально-поэтические состязания, были проведены еще задолго до первых Олимпийских игр.

Древнегреческое слово «агон» как выражение состязательного, спорного и противоречивого начала заключает в себе фундаментальную характеристику всей древнегреческой культуры. Крупнейшие исследователи и знатоки греческой культуры Я. Буркхардт, В. Буркерт, Г.П. Драч, А.И. Зайцев, Ж. Лиотар, А.Ф. Лосев, Е.Я. Режабек, И.Е. Суриков, Ф. Ницше и другие авторы, не колеблясь, использовали категорию агональности для анализа специфики социального строя, хозяйственного уклада, ментального строя и своеобразия культуры древних греков.

Наиболее полным социальным выражением агональности был древний родовой строй, который органически сочетал в себе игровую состязательную деятельность с интересами обеспечения целостности общины. Эти соревнования, например некоторые спортивные поединки, могли быть суровыми, жестокими, но все они в итоге работали на сохранение и совершенствование целостности общины и человека, воспитывая в нем крепость тела и духа, сочетающуюся с беспредельной преданностью своему роду.

В соответствии со сценарием состязания в Древней Греции проходили все важнейшие социальные процессы. «Ни один народ не сознавал в такой мере, как греки, необходимость напряжения всех сил для создания чего-либо выдающегося. Самым же естественным у них стимулом для этого являлось соревнование в форме агона, который придавал неумолимому закону права сильного известное идеальное освещение. Этот принцип соревнования распространялся на всевозможные области жизни, от самых возвышенных проявлений до самых низменных, и создавал все новые формы» [1, с. 115].

В соответствии с агональным принципом шло становление не только античной философии и искусства, решались проблемы устройства полисных отношений, но и повседневная, обыденная жизнь древних греков и римлян была пронизана агональностью: разнообразные празднества, вакханалии, зрелища. Древнегреческий «агон» находит свое выражение в мифологии, в идее военного противоборства как необходимого элемента исторического движения в понимании Геродо-

та, Фукидида и Ксенофонта. Космологические идеи Гераклита, Эмпедокла, Парменида трактуют борьбу и противоречие как важнейший онтологический принцип мироустройства. Существенным образом «агональное» начало проявляется и в философии Сократа, где противопоставляется истинное знание и неистинное мнение, выделяется противоречивость и парадоксальность природы человеческой добродетели.

Принципу состязательности с его строгими нормативными предписаниями подчинялись соревнования политических ораторов в народных собраниях, судебно-процессуальные споры истцов и ответчиков, театральные спектакли и зрелища. Всем участникам предоставлялись равные исходные условия и возможности, они признавались равными претендентами на призовые места, и им необходимо было в максимальной степени использовать открывавшиеся возможности и собственные личные резервы, не прибегая при этом к аморальным и противоправным уловкам. То есть фактически состязание выступало как практическое средство воплощения принципа справедливости, позволявшего победить сильнейшему и талантливейшему.

Дух соревновательности способствовал развитию творческих наклонностей древних эллинов, позволял им реализовывать свои творческие способности и задатки с пользой для себя и социума, укреплял основы цивилизованного общежития. Социуму как таковому было, в сущности, не важно, кто именно из эллинов побеждал в том или ином состязании. Важно было, чтобы в атмосфере напряженной честной состязательности проявлялись лучшие человеческие качества и повышался уровень цивилизованности общественной жизни. Агон почитался как божество, его изображение в числе других божеств выставлялось в Олимпии, а также использовалось при чеканке монет.

Олимпийские игры, в которых агональность проявляется в своем чувственно-телесном облике, становится мощным фактором культурного процесса, выходящего далеко за пределы античного мира и превращающегося в общечеловеческую ценность и явление мировой культуры. Сократ, участвовавший в Истмийских играх, восхищался физическим совершенством атлетов и порицал тех, кто не уделяет должного внимания своему физическому развитию. В молодости неоднократно в соревнованиях борцов принимал участие и Платон, побеждая в Пифийских, Немейских и Истмийских играх. В диалоге «Государство» Платон настаивал на необходимости гимнастических упражнений для всех граждан полиса. В Греции не было ни одного города, где не было бы сооружений для тренировок, большая часть трактатов по физиологии спорта до настоящего времени не сохранилась, но очевидно, что именно в Древней Греции были заложены основы спортивной медицины и спортивной психологии. Известны такие слова Аристотеля: «Об искусстве управления кораблем пишут больше, чем о подготовке атлетов, потому что управление кораблем пока еще не стало хорошо собранным знанием» [цит. по 2, с. 176].

На время Олимпийских игр греческие государства должны были прекращать военные действия, которые могли бы помешать нормальному ходу игр, и, хотя это правило неоднократно нарушалось, никто не подвергал сомнению правильность подобного закона.

Олимпийский герой увозил венок с собой на родину. Возвращение олимпионика домой выливалось в подлинный триумф.

Архилохова песнь,
Звучащая в Олимпии,
Победная хвала,
Тройственная и ликующая,
Довлела Кронову холму
Для шествия Эфармоста с любезными его друзьями [3, с. 40].

Одетый в пурпурные одежды, в сопровождении родных и друзей, он въезжал в родной город на колеснице, запряженной белыми конями. Нередко при встрече олимпионика земляки разрушали часть городской стены в знак того, что полису, имеющему таких славных героев, не страшны никакие враги и не нужны крепости. Полис до конца жизни одаривал победителя почес-

тями. Его избирали на самые почетные должности, закрепляли за ним лучшее место в театре, кормили за счет казны, освобождали от налогов. В Спарте олимпионик удостаивался чести сражаться на войне рядом с царем. Видные греческие поэты посвящали олимпионикам стихи, их имена высекались на камне, изображения чеканились на монетах. Тем, кто побеждал на Играх не менее трех раз, ставили статуи лучшие скульпторы. Особых почестей удостаивались периодоники — победители всех панэллинских соревнований, проводившихся в четырехлетний период Олимпиады. Периодониками были Милон из Кротона, Феаген из Фозоса, Диагор с Родоса, Пифагор из Магнесия, дважды получивший этот титул, и другие.

**Особый статус спортивного агона.** По каким же причинам в Древней Греции, где состязательностью была пронизана вся жизнь общества и где эта состязательность выступала в самых разнообразных формах, именно спортивные агоны завоевали особый статус и им придавали беспрецедентно высокое значение, а победители-спортсмены получали такую высокую популярность, что оказывались фактически в одном ряду с божествами и героями греческих мифов?

По всей видимости, спортивная агональность заключала в себе индивидуальные и коллективные смыслы, аутентичные античной цивилизации. Каковы же эти смыслы?

Интересные рассуждения, почему спортивные состязания должны были, в сравнении с другими состязаниями, обладать определенными преимуществами и в чем же эти преимущества состояли, приводит Н.Н. Визитей. Исключительный интерес греков именно к атлетическим агонам Визитей выводит из особенной способности греков к философии и поискам объективной основы мира. Известно стремление греков получить точные и всеобъемлющие знания о мире, их первые научные интенции были связаны с попыткой определить некую первосубстанцию – первооснову мира, что послужило источником возникновения первых философских школ. За миром текучих и непостоянных вещей греки хотели видеть объективные законы, определить неизменные принципы бытия, посредством которых можно было бы упорядочить мир, в котором они жили и, опираясь на которые, стало бы возможным гармонизировать свои отношения с этим миром. Однако точное знание мира предполагает столь же точное знание себя и, не в последнюю очередь, – определение места каждого в социуме. Спортивное состязание позволяет *максимально объективно*, в простой и зримой форме решить эту проблему. «Простота» и очевидная «несодержательность» спорта по сравнению с другими деятельностями была существенной предпосылкой указанной точности, предпосылкой объективного и точного ответа на вопрос: кто в данный момент является лучшим и на какое место в общественном устройстве он вправе претендовать. Спортивное состязание давало несравненно более однозначный, чем любое другое состязание, ответ на вопрос, кто же действительно является лучшим.

Известно, что в спорте греки воздавали лавры победителя только тому, кто оказывался первым. Те же, кто занимал в спортивном состязании второе или третье место, греков, по сути, интересовали мало. В то же время имеются свидетельства, что в соревнованиях хоров, риторов, драматургов или исполнителей на музыкальных инструментах внимание заслуживали и те, кто оказывался и на второй, и на третьей позициях. «Что стоит за такого рода различием в подходах, в соответствии с которыми подводится итог состязания? В значительной мере, несомненно, то обстоятельство, что практически во всех агонах, кроме спортивного, оценка лучшего неизбежно имела существенно более *субъективный характер.* Второй и третий результаты сами по себе значительного интереса и восхищения при этом обычно не вызывали. Грека, как мы отметили, интересовал в принципе *только победитель.* Но победитель, определенный сугубо *объективно,* с максимальной точностью. Именно из желания быть точным, *из опасения ошибиться* грек считал целесообразным в таких соревнованиях, как, скажем, исполнительское мастерство, проводить специальное выделение не только победителя, но и тех, кто в соответствии с оценкой компетентных судей несколько уступал победителю, кто показывал более скромные результаты» [4, с. 185].

«Спорт, таким образом, открывал уникальную и страстно желанную для каждого грека возможность – *максимально точно самоопределиться в общегреческом масштабе,* при этом самоопределиться *публично*» [там же].

Ответить на вопрос о причинах, по которым именно спортивные агоны утвердились в греческом обществе в качестве ведущих, можно, опираясь и на фундаментальные исследования, посвященные выявлению особенностей античной когнитивности. Когнитивность гомеровской эпохи, в которой рождается и приобретает свои развитые формы спортивная агональность, мы определяем как додискурсивную. Среди признаков данного типа когнитивности называется способность эйдетического восприятия действительности, для которого характерны особенная восприимчивость к чувственным впечатлениям и фиксация внимания на внешних, «телесных» образах. «В сознании фиксируется все яркое для ощущения, все острое и выразительное для чувственного восприятия. Сосредоточенный на чувственной стороне вещей ум был «бесконечно внимателен» (А.Ф. Лосев) к фиксации всего внешнего, в равной мере описывая и существенное, и несущественное» [5, с. 165]. Спортивные состязания, сопровождаемые высоким накалом чувств и эмоций, безусловно, отвечали потребностям душевной жизни греков с особым строем их когнитивной организации в конкретной зримости и чувственной осязаемости мира. О склонности и способности людей архаических эпох видеть в чувственно-материальном нечто идеальное, с которыми современный человек практически расстался, известно из фундаментальных исследований (Л.Леви-Брюль, Б. Снелль, М. Бахтин, С.С. Аверинцев, А.Ф. Лосев). М.М. Бахтин пишет: «Наше «внутреннее» для грека рассматривалось в одном ряду с нашим «внешним», то есть было так же видимо и слышимо и существовало вовне для других, так же как и для себя. В этом отношении все моменты образа были однородными» [6, с. 285]. Скажем, о храбрости у Гомера можно читать очень много, но считать ее нравственной добродетелью едва ли возможно, потому что она у него ничем не отличается от физической силы. Различить alkimos – «сильный», «храбрый» и iphtimos – «физически сильный» практически невозможно. Точно так же kalos грек относит преимущественно к телу. В свою очередь, «душа» выступает как стихийно-физический процесс. С этой точки зрения, которая воспроизводит ментальный строй архаического сознания, ни «душа», ни «ум», ни «честь», ни «мудрость» не содержат чего-нибудь духовного, они всецело телесны. Для грека физическое и психическое неразличимы, что приводит к приписыванию психическим состояниям и качествам телесного пространственного бытия. Из повествования о приключениях Одиссея мы узнаем, что Афина «проливает» красоту на Одиссея, как будто красота – это некая вещественная субстанция.

Интересные размышления, которыми так же, по-нашему мнению, можно объяснить небывалый интерес греков к внешней, телесной стороне бытия и к спортивной агональности, мы находим у М. Элиаде, который связывал их с особенностями религиозного сознания греков. Греческая религия выглядит пессимистической: человек недолговечен, и его жизнь полна невзгод и разного рода испытаний, его участь изначально предопределена Мойрой, которая прядет нити его судьбы. Перечень человеческих несчастий очень длинен: бедность, болезни, старость, смерть близких и т.п. В связи с этим показательна история, которую приводит Геродот о том, как Аполлон внял мольбе простой матери, которая отличалась большой набожностью и молила наградить ее набожность наивысшим даром, который он может послать ее детям: ее дети умерли мгновенно и без всяких мучений. Не мог человек надеяться и на радости загробной жизни, современникам Гомера загробная жизнь виделась тягостным и жалким существованием в мире теней Аида. «Следовательно, имеет смысл наиболее полно пользоваться такими его благами, как молодость, здоровье, удовольствие плоти или радость, даруемые добродетелью. Таковы уроки Гомера: жить исключительно – но и благородно – настоящим» [7, с. 325]. Столь трагический взгляд на человеческую природу и мир парадоксальным образом не привел к умалению творческой мощи греческого гения, а, напротив, привел к ее возвышению. Поскольку боги положили предел человеческим возможностям, грек начал превозносить и даже обожествлять проявления чисто человеческого

существования. «Иными словами, он вновь открыл для себя сакральный смысл «радости бытия», религиозную ценность эротики и телесной красоты, сакрализовав все коллективные развлечения – игры, процессии, танцы, песнопения, спортивные состязания, драматические действа, застолья» [там же]. Но Элиаде пишет, что «радость бытия», познанная и испытываемая греками, характеризуется отнюдь не профанными свойствами, «ее порождает блаженное чувство следования, пускай скоротечного, вселенскому закону и причастности к величию мироздания» [7, с. 326]. Греки, считает М. Элиаде, как и многие другие народы, осознали, что победить неукротимость времени можно, только *полнее* проживая каждое мгновение жизни, стараясь максимально использовать те возможности, которые открываются человеку. Очевидно, что для успешного продвижения и культурного прогресса нужен не столько оптимистический взгляд на мир, сколько интерес и позитивное отношение к повседневным конкретным усилиям.

Несколько другие акценты в прояснении вопроса об особом месте спортивного состязания в культуре древних греков ставит А. И. Зайцев в фундаментальном исследовании «Культурный переворот в Древней Греции VIII–V вв. до н. э.». Греческое общество от архаики до классики, считает Зайцев, относится к числу компетитивных обществ, «в которых важное значение имела установка индивида на то, чтобы превзойти окружающих в достижении своих жизненных целей [8, с. 81].

Как известно, духовная жизнь любого общества, помимо прочего, определяется степенью жесткости и формами общественного контроля над поведением индивида.

В связи с этим в рамках типологии культур, которую в свое время (XIX век) ввел Я. Буркхардт и которая получила широкое хождение в англо-американской литературе, выделяется «культура стыда» (shame-culture) и «культура совести» (guilt-culture). Греческая культура тяготеет, безусловно, к первому типу. Здесь поведение индивида во многом разворачивается в связи с той оценкой, которую дают ему окружающие, – в соответствии с их одобрением или порицанием. «Самая грозная моральная сила, известная гомеровскому человеку – это не страх божий, но стыд (Αἰδώς) с оглядкой на общественное мнение: «О! Стыжуся троян...» – восклицает Гектор в роковой момент своей жизни и открыто идет на смерть» [9, с. 27]. Доддс считает так же, что и категории «прекрасный» и «безобразный» типичны для культуры «стыда», поскольку показывают не то, что действие приносит какому-то лицу добро или зло или что оно правильно или неправильно в глазах божества, но что оно выглядит прекрасным или безобразным перед лицом общественного мнения. Согласно исследованиям, в качестве важнейшего мотива действий в культуре «стыда» выступает подражание лучшим. Высокая оценка со стороны достойных людей является лучшим свидетельством высоких качеств человека, стремясь к славе и почету, человек посредством этого стремился убедиться в своей добродетели. Греки не считали постыдным открыто демонстрировать свои заслуги или какие-то другие свои преимущества, например, физическую красоту, говорить об этом во всеуслышание, а также высмеивать того, кто потерпел поражение или неудачу. Телесная красота была престижна, и нагота не вызывала чувство стыдливости. Известна история о знаменитой афинской красавице-гетере Фрине, послужившей ваятелю Праксителю натурщицей для создания богини любви «Афродиты Книдской» (350–330 гг. до н. э.).

Согласно рассказам античных авторов, Оратор Евфий (Евтиас), ею отвергнутый поклонник, обвинил гетеру в безбожии. Защитником гетеры стал знаменитый оратор Гиперид. Увидев, что его речь не производит на суд должного впечатления, он сдернул с Фрины её одежды (по другим текстам, обнажив ее только до пояса, или одежды сбросила сама Фрина, по знаку защитника). Красота произвела такое сильное впечатление на судей, что её оправдали — ведь согласно греческим представлениям о прекрасном, столь совершенное тело не могло скрывать несовершенную душу (концепция калакагатии). В источниках упоминается, что предстала она перед Гелиэей — афинским судом присяжных (Heliaea), а не перед ареопагом (судебный орган, судивший только за убийства), но французский художник Жан-Леон Жером назвал свою картину «Фрина перед ареопагом», для большей выразительности [10].

У Гомера Одиссей перед всеми похваляется своими умениями в метании копья и считает, что никто не делает это лучше, чем он. Он же заявляет, что слава его достигает неба. Зайцев отмечает, что поведение человека определялось тем, насколько он приблизился в своем поведении к принятым в его социальном окружении представлении о доблести (αρετή). Часто в нашей литературе слово «арете» (αρετή) переводится как добродетель, но на самом деле это многосторонняя способность человека, которая придает обладающему ей божественные черты. «Имеются в виду как физические способности, а именно быть хорошим воином, бегуном и танцором или быть красивым, так и душевные, а именно уметь играть на лире, водить корабли, уметь обращаться с предметами роскоши и быть порядочным, верным, короче, иметь "хорошую диафрагму" (Phren)» [11, с. 105]. Разумеется, этические и эстетические взгляды древних греков существенно отличаются от современных: чисто идеальная добродетель, явно находящаяся в противоположности к телесной, физической совершенно немыслима для древних греков. Такие этические понятия, как доблесть, мужество, честь наполнялись в те времена совершенно иным содержанием и в сознании эллинской аристократии гомеровского и классического периодов во многом определялись физической силой, выносливостью и, наконец, телесной красотой. Но определялись не изолированно, но в сочетании с высокими нравственными качествами. «Теперь мы должны отметить важную дополнительную деталь: стремление к арете носит отчетливо выраженный соревновательный характер, и положение человека определяется в гомеровском обществе не просто соответствием его поведения представлениям об арете, но систематически оценивалось в сравнении с аналогичными усилиями и достижениями тех, кто сравним с ним по общественному положению» [8, с. 82]. В «культуре совести» принят иной вариант организации социальной жизни; здесь на первый план выступает внутренняя система ценностей, и для индивида решающее значение приобретает собственный «суд совести», который определяет соответствие поведения этой системе. «Культура совести» предполагает высокий уровень внутренне свободной личности, способной на ответственные поступки, поскольку только тот, кто способен на ответственные поступки, может испытывать муки совести и признавать себя виноватым. В связи с этим можно сказать, что греки не знали чувства вины, человек, согласно мифу, был ареной действия божественных сил, следовательно, вина для них была объективным событием в том же смысле, как и болезнь. Из отечественных культурологов подобной позиции придерживается И.Д. Рожанский: «Чувство внутренней греховности было чуждо грекам. Но им в высшей степени было присуще чувство стыда перед гражданами» [12, с. 284].

**Вывод.** Наши рассуждения привели к следующему положению: ментальный строй античного человека был устроен таким образом, что выдвинул спортивную агональность в качестве интегративного принципа своеобразия греческой культуры и ее впечатляющих цивилизационных достижений.

**Библиографический список**

1. Баумгартен Ф. Эллинская культура / Ф. Баумгартен, Ф. Поланд. – М., 2000.
2. Гутман А. От ритуала к рекорду / А. Гутман // Логос. – 2009. – № 6 (73).
3. Пиндар. Олимпийские песни. Песня 9. 1 с. / Пиндар // Пиндар. Оды. Фрагменты / Пиндар, Вакхилид. – М.: Наука, 1980.
4. Визитей Н.Н. Курс лекций по социологии спорта: учеб. пособие / Н.Н. Визитей. – М.: Физическая культура, 2006.
5. Режабек Е.Я. Мифомышление. Когнитивный анализ / Е.Я. Режабек. – М.: Едиториал УРСС, 2003.
6. Бахтин М.М. Формы времени и хронотопа в романе. Очерки по исторической поэтике / М.М. Бахтин // Вопросы литературы и эстетики. Исследования разных лет. – М., 1975.
7. Элиаде М. История веры и религиозных идей: От каменного века до элевсинских мистерий / М. Элиаде; пер. с фр. Н.Н. Кулаковой, В.Р. Рокитянского, Ю.Н. Стефанова. – М.: Академический проект, 2008.

8. Зайцев А.И. Культурный переворот в Древней Греции VIII–V вв. до н.э. / А.И. Зайцев. – Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1985.

9. Доддс Е.Р. Греки и иррациональное / Е.Р. Доддс; пер. с англ. М.Л. Хорькова. – М.; СПб.: Московский философский фонд; Университетская книга; Культурная инициатива, 2000.

10. Википедия. [Электрон. ресурс]. Режим доступа: http://ru.wikipedia.org/wiki/ (дата обращения 12.03.11).

11. Хюбнер К. Истина мифа: пер. с нем. / К. Хюбнер. – М.: Республика, 1996.

12. Рожанский И.Д. Античный человек: О человеческом в человеке / И.Д. Рожанский. – М.: Политиздат, 1991.

Материал поступил в редакцию 29.04.11.

**References**

1. Baumgarten F. E`llinskaya kul`tura / F. Baumgarten, F. Poland. – M., 2000. – In Russian.

2. Gutman A. Ot rituala k rekordu / A. Gutman // Logos. – 2009. – # 6 (73). – In Russian.

3. Pindar. Olimpijskie pesni. Pesnya 9. 1 s. / Pindar // Pindar. Ody`. Fragmenty` / Pindar, Vakxilid. – M.: Nauka, 1980. – In Russian.

4. Vizitej N.N. Kurs lekcij po sociologii sporta: ucheb. posobie / N.N. Vizitej. – M.: Fizicheskaya kul`tura, 2006. – In Russian.

5. Rezhabek E.Ya. Mifomy`shlenie. Kognitivny`j analiz / E.Ya. Rezhabek. – M.: E`ditorial URSS, 2003. – In Russian.

6. Baxtin M.M. Formy` vremeni i xronotopa v romane. Ocherki po istoricheskoj poe`tike / M.M. Baxtin // Voprosy` literatury` i e`stetiki. Issledovaniya razny`x let. – M., 1975. – In Russian.

7. E`liade M. Istoriya very` i religiozny`x idej: Ot kamennogo veka do e`levsinskix misterij / M. E`liade; per. s fr. N.N. Kulakovoj, V.R. Rokityanskogo, Yu.N. Stefanova. – M.: Akademicheskij proekt, 2008. – In Russian.

8. Zajcev A.I. Kul`turny`j perevorot v Drevnej Grecii VIII–V vv. do n.e`. / A.I. Zajcev. – L.: Izd-vo Leningr. un-ta, 1985. – In Russian.

9. Dodds E.R. Greki i irracional`noe / E.R. Dodds; per. s angl. M.L. Xor`kova. – M.; SPb.: Moskovskij filosofskij fond; Universitetskaya kniga; Kul`turnaya iniciativa, 2000. – In Russian.

10.Vikipediya. [E`lektron. resurs]. Rezhim dostupa: http://ru.wikipedia.org/wiki/ (data obrashheniya 12.03.11). – In Russian.

11.Xyubner K. Istina mifa: per. s nem. / K. Xyubner. – M.: Respublika, 1996. – In Russian.

12.Rozhanskij I.D. Antichny`j chelovek: O chelovecheskom v cheloveke / I.D. Rozhanskij. – M.: Politizdat, 1991. – In Russian.

## AGON AS AN IMMANENT CHARACTERISTIC FEATURE OF ANCIENT GREEK CULTURE

**E.Y. REZHABEK**
(Southern Federal University),
**M.A. BOGDANOVA**
(Pedagogical Institute, Southern Federal University)

*The thesis of agonality as the fundamental characteristic of the Classical Greek culture is supported in the article. Competitiveness as the system-forming principle of the Greek society penetrates all spheres of the social life. Acquisition of high status by agonality is connected with the Greek cognitive peculiarities.*
***Keywords:*** *sport activity, agon, Olympic games.*

# СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ И ОБЩЕСТВЕННЫЕ НАУКИ

УДК 377.031.4:004

## ИНВАРИАНТНЫЕ СОСТАВЛЯЮЩИЕ И УРОВНИ СФОРМИРОВАННОСТИ ИНФОРМАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ КУЛЬТУРЫ СТУДЕНТА ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО КОЛЛЕДЖА

**В.Б. ДУДКА**
(Таганрогский политехнический колледж (филиал)
Донского государственного технического университета)

*Рассмотрены вопросы составляющих информационно-технологической культуры студента. Обозначены конкретные характеристики и критерии уровней составляющих информационно-технологической культуры будущего специалиста среднего звена.*
***Ключевые слова:*** *уровни сформированности, составляющие, информационно-технологическая культура.*

**Введение.** В силу ряда причин «отдельные педагогические инновации по организации индивидуализированного и развивающего обучения больше опираются не на современные информационные и эффективные методы выявления уровня и структуры усвоения обучающимися содержания в различных предметных областях, а на интуицию и опыт педагога на фоне резкого возрастания его трудовых затрат и психологических нагрузок [1]. Сложившаяся ситуация делает актуальным вопрос разработки критериев оценки сформированности информационно-технологической культуры как обучающихся, так и педагогов. Критерий сформированности составляющих информационно-технологической культуры будущего специалиста политехнического колледжа представляет собой качественную характеристику, а показателем знаний является количественная характеристика.

Для выбора показателей сформированности составляющих информационно-технологической культуры необходимо установить процедуру измерения показателей знаний студентов, то есть определить содержание уровней сформированности их знаний.

В существующих образовательных технологиях уровневая конкретизация целей обучения осуществляется через их результаты, которые должны быть выражены на языке действий. При этом цели обучения должны отвечать определенным условиям (например, цели должны представлять иерархичную систему, внутри которой выделены их категории; цели должны быть выражены максимально конкретно) и представлять собою так называемые педагогические таксономии. Наиболее известными таксономиями являются таксономии, предложенные В. П. Беспалько в работе «Слагаемые педагогической технологии». Они представляют собой такую систему действий, как запоминание, воспроизведение знаний, умения и навыки преобразования знаний [2]. Из анализа зарубежного опыта известны педагогические таксономии М.В. Кларина. В работе «Инновации в мировой педагогике: обучение на основе исследования, игры и дискуссии» М.В. Кларин характеризует как знание понимание, наблюдение, измерение, выделение проблем, поиск решения, интерпретацию проблемы и обобщение, построение теоретической модели, применение знаний и методов, практические умения, отношение и интерес, ориентацию [3].

**Определение сформированности информационно-технологической культуры студента политехнического колледжа.** В настоящее время в российской системе образования активно разрабатываются педагогические таксономии для студентов вузов. Например, О.К. Филатов, Д.В. Чернилевский в работе «Технологии обучения в высшей школе» выделяют такие уровни системы контроля:

1) уровень представления (знакомства): студент способен узнавать (различать) объекты и процессы, представленные ему либо в материальном виде, либо по описанию, изображению, характеристике;

2) уровень воспроизведения: студент способен воспроизвести информацию, знания, систему действий, решить задачу, аналогичную рассмотренной задаче;

3) уровень умений и навыков: характеризуется тем, что студент умеет выполнять действия, технология и алгоритм выполнения которых изучены на занятиях. Причем содержание и условия выполненных действий являются (хотя бы частично) новыми. Для выполнения этих операций могут использоваться как умения (когда действия выполняются после предварительного обдумывания их последовательности), так и навыки (когда обдумывание каждой предстоящей операции свернуто во времени);

4) уровень творчества: представляет собой самостоятельные действия, когда студент осознает, какие дополнительные знания и способы деятельности он должен получить для решения поставленной задачи [4].

Известно, что в познавательной сфере содержание уровней знаний классифицируется по таким составляющим информационно-технологической культуры, как уровень воспроизведения знаний, позволяющий воспроизвести факты, перечислить названия изучаемых явлений и предметов; уровень понимания воспроизводимых знаний; уровень применения знаний; уровень умений анализировать и синтезировать признаки интересующего объекта; уровень умений дать оценку, сделать общий вывод.

Охарактеризуем кратко каждый из уровней, которые составляют информационно-технологическую культуру студента, заметив, что мы их будем называть инвариантными.

*Уровень знаний*, позволяет воспроизвести факты, осознать и перечислить названия изучаемых явлений и предметов, представляющих собой систему фундаментальных информационно-технологических знаний, являющихся теоретической и методологической базой информационно-технологической культуры.

*Уровень понимания воспроизводимых знаний* представляет собой систему умений и способностей будущего специалиста, которые делают его пригодным к осуществлению профессиональной практической деятельности.

*Уровень применения знаний* характеризуется эмоционально-ценностным отношением будущего специалиста к его информационно-технологической деятельности, умению применять полученные знания в практической деятельности.

*Уровень умений анализировать и синтезировать признаки интересующего объекта*. На этом уровне личный опыт информационно-технологической деятельности специалиста среднего звена превращается в компетенции.

*Уровень умений дать оценку*, сделать общий вывод о поступающей информации характеризуется взаимодействием и интеграцией приобретенных знаний субъектом обучения.

В психологической сфере выделяются следующие уровни составляющих информационно-технологической культуры, которые характеризуются:

– восприятием отдельных показаний, признаков, свойств объекта, а также реагированием субъекта обучения на них;

– проявлением интереса к необходимой для получения знаний информации, имеющей практическую направленность;

– организацией, структурированием полученной информации, её систематизацией;

– умением упорядочить получаемую информацию в практической деятельности по специальности.

В психомоторной сфере выделено содержание составляющих информационно-технологической культуры будущего специалиста среднего звена, которые выражаются в следующем:

– представление о том, как надо действовать в реальной ситуации;

– готовность выполнять действия, адекватные ситуации;

– самостоятельное выполнение системы действий.

Проблемами определения содержания уровней сформированности составляющих информационно-технологической культуры будущего специалиста среднего звена занимаются И. Алексеева, К.У. Байчаров, С.В. Воробьёв, Т.П. Воронина, И.Г. Захарова, В.Г. Кинелев, Г.А. Кручинина и др. Ими выделяются следующие уровни:

– информационно-технологического знания;

– информационно-технологического умения;

– эмоционально-ценностного отношения к профессиональной деятельности с использованием информационных технологий;

– опыта профессионально-ориентированной деятельности с использованием информационных технологий;

– взаимодействия субъектов культурно-образовательного пространства – носителей информационно-технологической культуры.

**Характеристика составляющих информационно-технологического знания по уровням и их локальные критерии.** Каждая из означенных выше составляющих характеризуется четырьмя уровнями. Например, *первая составляющая информационно-технологического знания* характеризуется по следующим уровням, первый из которых характеризуется как недостаточный. Студент имеет только общие представления об информационных технологиях и возможностях их применения в профессионально технической сфере. Он практически не знает: основных понятий информатики, направления развития информатизации в практической деятельности по специальности, внутреннее строение, архитектуру компьютера, основных принципов программирования; поверхностно знает основные моменты решения технических задач с помощью компьютера и компьютерных сетей, имеет посредственные знания о технологиях обработки информации.

Второй уровень – удовлетворительный. Студент имеет посредственные знания основ информатики; имеет несистематизированные представления о использовании компьютерных технологий, применении информационных технологий при изучении общетехнических дисциплин и дисциплин специализации, которые усвоены не в полном объёме. На уровне пользователя знает архитектуру компьютера; недостаточно знает основные принципы программирования; знает решения небольшого класса технических задач.

Третий уровень характеризуется как хороший. Студент владеет частичными знаниями в области программирования; имеет неполное знание о фундаментальных принципах и понятиях информатики; имеет знания о возможностях, особенностях и технологии использования средств компьютерной техники в процессе решения профессионально-ориентированных задач. Основные понятия о применении информационных технологий при изучении общетехнических дисциплин и дисциплин специализации освоены, но недостаточно глубоко. Может показать на примере и назвать основные компоненты архитектуры ПЭВМ, но не уверенно знает их назначение и принципы функционирования. Знает, но не в полном объёме основные направления развития компьютерной техники; знает основные принципы и методы решения большого класса технических задач.

Четвертый уровень характеризуется как высокий. Студент обладает полными, систематическими, осознанными и прочными знаниями фундаментальных понятий информатики и информационных технологий. Знает уровень и направления развития компьютерной техники вообще и в области автоматизации практической деятельности по специальности в частности. Обладает знаниями взаимосвязи аппаратного и программного обеспечения компьютера, знает принципы работы основных его блоков. Владеет знаниями о технологии использования компьютерной техники в процессе решения профессионально-ориентированных задач. Владеет системой знаний в области общетеоретических вопросов, связанных с обработкой информации с помощью компьютера. Знает принципы работы и основные недостатки использования компьютера в технической сфере деятельности; в достаточной мере знает основные принципы алгоритмизации и программирования; теоретически подготовлен в вопросах использования баз данных, экспертных систем; знает технологии обработки информации по выбранной профессии.

Критерием уровня сформированности составляющей информационно-технологической культуры будущего специалиста среднего звена была выбрана одна из важных характеристик усвоенного знания, а именно его объем. Объем усвоенных студентом знаний можно представить через содержание уровней сформированности информационно-технологического знания, где каждому уровню соответствует определенный объём знаний. Это позволяет в дальнейшем перейти к определению показателей данного критерия – сформированности информационно-технологических знаний будущего специалиста среднего звена в условиях культурно-образовательного пространства политехнического колледжа.

Показателем локального критерия сформированности информационно-технологического знания служит отношение количества студентов, знания которых соответствуют данному уровню, к количеству студентов, участвующих в эксперименте.

*Вторая составляющая* представляет собой *информационно-технологические умения*, которые аналогично первой составляющей характеризуются по уровням.

Первый уровень (недостаточный): студент не может самостоятельно найти способ решения технической задачи с использованием компьютера; не может самостоятельно перенести уже сформированные умения на реальную ситуацию; отсутствуют практические навыки работы с программным обеспечением; воспроизводит действия по образцу только с помощью педагога. У студента наблюдается замедленный темп работы на компьютере; не умеет выделить главное в изучаемом учебном материале по информатике; не умеет пользоваться аналитическими методами обработки информации; как правило, неверно планирует пути решения различных технических задач с помощью компьютера; не умеет пользоваться локальной и глобальной компьютерными сетями; затрудняется в нахождении профессионально-значимой информации.

Второй уровень характеризуется как удовлетворительный. Студент иногда самостоятельно находит правильный способ решения задачи; умеет пользоваться компьютером, но не может использовать его как инструмент учебной деятельности. Он понимает необходимость овладения тем или иным профессиональным умением использования информационных технологий. Умеет действовать по образцу: может перенести систему действий на другие виды деятельности с помощью преподавателя. Студент способен применять имеющиеся знания на практике. Однако недостаточно хорошо владеет клавиатурой компьютера, плохо ориентируется в незнакомом интерфейсе программы; не использует аналитические методы решения технических задач; иногда правильно планирует действия по решению технических задач на компьютере; немного знаком с глобальной сетью Интернет.

Третий уровень (хороший): студент умеет пользоваться основными инструментальными программными средствами, такими, как текстовый, графический редакторы, электронные таблицы, информационно-поисковая система. При этом он плохо знает программные продукты специального направления по своей специальности. У студента в основном сформированы базовые умения использования компьютера, однако их применение в новых ситуациях вызывает определенные трудности. Нередко самостоятельно предлагает способы решения технических задач на компьютере; может переносить ранее сформированные умения на подобные ситуации; умеет выделять в учебном материале главные факты; недостаточно использует методы анализа решения учебной задачи; может планировать свою информационно-технологическую деятельность; умеет работать в глобальной сети Интернет; может с помощью педагога освоить новое программное средство.

Четвертый уровень характеризуется как высокий: студент предлагает способы решения технических задач с помощью компьютера. При этом может переносить ранее сформированные умения на различные практические ситуации. Студент активно и осмысленно использует компьютер в процессе организации учебной деятельности; умеет выделять в учебном материале главное и обрабатывать его с помощью компьютера. Пользуется различными приемами анализа, сравнения, оценки информации. Может осознанно отбирать профессионально-значимую информацию,

планируя структуру действий при решении различных технических задач. Однозначно умеет производить поиск информации, необходимой для решения технической задачи. Умеет выбрать оптимальные средства для решения технических задач, работает в глобальной сети Интернет, извлекая профессионально значимую информацию. Кроме того, может самостоятельно освоить новое программное средство профессиональной направленности; умеет моделировать ситуационные процессы на компьютере, связанные с технической деятельностью по специальности; хорошо владеет автоматизированными информационными системами и средствами для их проектирования; умеет пользоваться локальной и глобальной компьютерными сетями; умеет самостоятельно отыскивать профессионально значимую информацию и оперировать ею.

Критерием этой составляющей информационно-технологической культуры была выбрана номенклатура умений применять полученные знания в учебной и профессионально-ориентированной деятельности.

В качестве показателя локального критерия сформированности информационно-технологической культуры будущего специалиста среднего звена было выбрано отношение количества студентов, умения которых соответствуют данному уровню, к количеству студентов, участвующих в эксперименте.

*Третья составляющая использования информационных технологий* представляет собой *эмоционально-ценностное отношение к профессиональной деятельности,* которое также характеризуется по уровням.

Первый уровень (недостаточный): студент с большими затруднениями выполняет на компьютере предложенные учебные задания. У него наблюдается безразличное отношение к использованию информационных технологий в технической деятельности по специальности. Студент не считает использование компьютера в обучении и в профессионально-ориентированной деятельности целесообразным. Он не ценит выбранную им профессию, его не волнует качество профессиональной подготовки. Студент не интересуется новейшими достижениями компьютерной техники вообще и её применением в профессиональной области в частности. Владение информационно-технологической культурой считает ненужным; отсутствует желание изучать информационные технологии; не пытается самостоятельно найти пути решения учебной задачи; отсутствуют ценностные ориентации при решении технических задач на компьютере, при этом нередко испытывает отрицательные эмоции и раздражение.

Второй уровень (удовлетворительный): у студента эмоции проявляются не всегда адекватно предложенному содержанию и смыслу учебной деятельности. Он иногда отключается от познавательного процесса, эпизодически проявляет интерес к работе с компьютером. Студент не получает удовлетворения от результатов учебной деятельности, равнодушно относясь к проблемам использования информационных технологий в практической деятельности по специальности. При этом надеется когда-нибудь освоить свою профессию; он не переживает за качество своей профессиональной подготовки, однако не хочет числиться отстающим в учебной группе. Иногда студент проявляет интерес к новейшим достижениям в области информационных технологий; у него периодически появляется желание учиться: он считает необходимым использование в учебной деятельности информационных технологий. При решении технических задач на компьютере студент неэмоционален.

Третий уровень характеризуется как хороший. У студента наблюдается положительное отношения к профессионально-технической деятельности в сфере компьютерных технологий. Наблюдается стремление к освоению и использованию информационных технологий в учебной деятельности. У студента присутствует устойчивый интерес к новейшим достижениям в сфере информационных технологий; он получает удовлетворение от результатов учебной информационно-технологической деятельности; студент достаточно осведомлен об использовании информационных технологий в своей профессиональной деятельности; осознает ценности своей профессиональной деятельности; при решении технических задач на компьютере он проявляет активность.

Четвертый уровень (высокий): учебные задания студент выполняет быстро и с энтузиазмом, проявляя эмоциональное отношение к проблеме использования компьютерных информационных технологий. Аргументированно отстаивает свое мнение о необходимости использования информационных технологий в учебной и профессионально-ориентированной деятельности. Студент ценит и любит выбранную профессию. Переживает за качество своей информационно-технологической подготовки; постоянно следит за новейшими достижениями в области развития компьютерной техники и программного обеспечения. Он стремится повысить уровень своей информационно-технологической культуры; обучается с удовольствием и старанием; пытается быстро и адекватно ситуации решить поставленную преподавателем задачу; получает удовлетворение от результатов учебной деятельности с использованием компьютера; испытывает положительные эмоции при решении задач на компьютере.

Критерием составляющей информационно-технологической культуры выбрано отношение студента к учебной деятельности, которое оценивалось экспертами из числа преподавателей колледжа.

Показателем этого локального критерия сформированности информационно-технологической культуры будущего специалиста среднего звена является отношение числа студентов, достигших определенного уровня, к числу студентов, участвующих в эксперименте.

*Четвертая составляющая оценивает опыт профессионально-ориентированной деятельности с использованием информационных технологий* по следующим уровням.

Первый уровень характеризуется как недостаточный. Студент неуверенно использует компьютер при решении технических задач; медленно выполняет задания на компьютере, постоянно задумывается, прежде чем выполнить простейшую операцию. Он не осуществляет самоанализа результатов собственной информационно-технологической деятельности; не может корректировать деятельность по решению технических задач на компьютере; не может и не пытается предвидеть ход решения технической задачи; не может принимать нестандартные решения по использованию информационных технологий в учебной деятельности; не изучает передовой опыт использования информационных технологий.

Второй уровень (удовлетворительный): студент неуверенно использует компьютер при решении различных технических задач. Медленно выполняет простейшие операции на компьютере. До автоматизма доведены у студента основные действия: манипулирование мышью, клавиатурой. Он не может без помощи педагога проводить анализ результатов своей информационно-технологической деятельности; пытается предвидеть и скорректировать ход решения технических задач на компьютере; не может принимать нестандартные решения; недостаточно знаком с передовым опытом и перспективами развития информационных технологий в технической практической сфере.

Третий уровень характеризуется как хороший. Студент уверенно использует компьютерную технику при решении технических задач; быстро и правильно выполняет задания на компьютере. Он практически не задумывается при выполнении простейших операций на компьютере: действия при работе с компьютером доведены до автоматизма. Студент периодически проводит самостоятельный анализ результатов собственной информационно-технологической деятельности, однако не всегда адекватно оценивает уровень собственной информационно-технологической подготовки; корректирует свою информационно-технологическую деятельность под руководством преподавателя; знает несколько способов решения технических задач с помощью компьютера; старается быть в курсе передового опыта в области использования информационных технологий в сфере своей специальности.

Четвертый уровень (высокий): студент уверенно использует компьютер при решении технических задач любой сложности; легко адаптируется к незнакомым ему ситуациям в сфере применения информационных технологий; очень быстро и правильно выполняет задания на компьютере; у студента манипулирование клавиатурой компьютера происходит на подсознательном

уровне; он постоянно осуществляет самоанализ результатов собственной информационно-технологической деятельности; адекватно оценивает собственную информационно-технологическую подготовку, самостоятельно корректирует деятельность по решению технических задач с помощью компьютера; студент способен принимать нестандартные решения в сфере информационных технологий; предвидит ход решения технической задачи с помощью компьютера; творчески подходит к решению различных технических задач средствами информационных технологий; может решить техническую задачу многими способами; умеет оценить исторические аспекты, текущее состояние и перспективы развития информационных технологий в профессиональной сфере; всегда в курсе передового опыта в области использования информационных технологий.

Критерием этой составляющей информационно-технологической культуры выбран объём личного опыта по использованию персонального компьютера в различных областях учебной деятельности.

Показателем этого локального критерия выбрано отношение числа студентов, личный опыт которых соответствуют данному уровню, к числу студентов, участвующих в эксперименте.

*Пятая составляющая – взаимодействие субъектов культурно-образовательного пространства – носителей информационно-технологической культуры* характеризуется следующими уровнями.

Первый уровень (недостаточный): студент не идет на контакт с участниками учебного процесса; не проявляет активность в оказании помощи товарищу в выполнении учебного задания. Студент не обращается за помощью ни к однокурсникам, ни к преподавателю. Не слушает и не воспринимает подсказок однокурсников; никогда не задает вопросы по изучаемому материалу. Во время перемены он практически всегда находится один: не пытается наладить общение с однокурсниками; не интересуется программными средствами компьютера; не имеет желания выразить себя в коллективе. Он не доверяет сокурсникам и преподавателям; не обращает внимание на свой престиж в группе; старается избегать публичных выступлений; затрудняется в выражении своих мыслей; часто проявляет неуверенность в себе, воспринимает задания преподавателя поверхностно.

Второй уровень характеризуется как удовлетворительный. Студент редко идет на контакт с участниками учебно-воспитательного процесса, особенно с преподавателями. Он стремится понять поставленную задачу; иногда помогает сокурснику в затруднительной ситуации. Студент старается не просить помощи однокурсников и не слушает подсказки других; мало задает вопросов по изучаемому материалу; особо не старается показать себя в группе с лучшей стороны; выборочно доверяет сокурсникам; часто недостаточно четко выражает свои мысли, иногда проявляет неуверенность в себе.

Третий уровень (хороший): студент легко идет на контакт с однокурсниками и преподавателями. Он может, опираясь на собственные знания, своими словами передать чужую мысль. Старается понять собеседника; часто помогает сокурсникам; может в случае необходимости просить помощи у преподавателя; часто задает вопросы по изучаемому материалу; замыкается в себе очень редко; у него периодически проявляется стремление повысить свой престиж; доверяет преподавателю и некоторым сокурсникам; не отказывается выступать публично; часто проявляет уверенность в себе.

Четвертый уровень (высокий): студент с удовольствием идет на контакт с участниками учебного процесса; может изложить своими словами учебный материал; умеет правильно, четко и однозначно выражать мысль в понятной собеседнику форме; правильно понимает текстовое сообщение; способен и стремится оказать посильную помощь сокурснику; может в зависимости от обстоятельств пойти на компромисс; при необходимости просит помощи преподавателя или сокурсника, с удовольствием задает вопросы по изучаемому материалу; анализирует подсказки; никогда не замкнут в себе; по возможности может обратиться к программной помощи; стремится

повысить свой престиж в группе; доверяет сокурсникам и преподавателю; часто выступает публично; всегда уверен в себе.

Критерием этой составляющей информационно-технологической культуры выбрана степень взаимодействия студента с преподавателями и сокурсниками в процессе совместной учебной деятельности.

Показателем этого локального критерия нами выбрано отношение числа студентов, степень взаимодействия которых соответствуют данному уровню, к числу студентов, участвующих в эксперименте.

**Заключение.** В работе определены составляющие информационно-технологической культуры студента колледжа, уровни их сформированности и критерии оценки этих уровней. Определены количественные показатели уровней сформированности информационно-технологической культуры будущих специалистов, что позволяет формализовать оценку достижений и студентов, и педагогического коллектива, а это, в свою очередь, способствует совершенствованию системы менеджмента качества.

**Библиографический список**

1. Ефремова Н.Ф. Тестовый контроль в образовании: учеб. пособие / Н.Ф. Ефремова. – М.: Логос, 2007. – 380 с.

2. Беспалько В.П. Слагаемые педагогической технологии / В.П. Беспалько. – М.: Педагогика, 1989.

3. Кларин М.В. Инновации в мировой педагогике: обучение на основе исследования, игры и дискуссии (анализ зарубежного опыта) / М.В. Кларин. – Рига, 1995.

4. Чернилевский Д.В. Технология обучения в высшей школе / Д.В. Чернилевский, О.К. Филатов: учеб. изд. / под ред. Д.В. Чернилевского. – М.: Экспедитор, 1996.

Материал поступил в редакцию 07.06.11.

**References**

1. Efremova N.F. Testovy`j kontrol` v obrazovanii: ucheb. posobie / N.F. Efremova. – M.: Logos, 2007. – 380 s. – In Russian.

2. Bespal`ko V.P. Slagaemy`e pedagogicheskoj texnologii / V.P. Bespal`ko. – M.: Pedagogika, 1989. – In Russian.

3. Klarin M.V. Innovacii v mirovoj pedagogike: obuchenie na osnove issledovaniya, igry` i diskussii (analiz zarubezhnogo opy`ta) / M.V. Klarin. – Riga, 1995. – In Russian.

4. Chernilevskij D.V. Texnologiya obucheniya v vy`sshej shkole / D.V. Chernilevskij, O.K. Filatov: ucheb. izd. / pod red. D.V. Chernilevskogo. – M.: E`kspeditor, 1996. – In Russian.

## INVARIANT COMPONENTS AND FORMING LEVELS OF INFORMATION-TECHNOLOGICAL CULTURE OF POLYTECHNICAL COLLEGE STUDENT

**V.B. DUDKA**
(Taganrog Polytechnic College, Don State Technical University branch)

*Components of the information-technological culture of the student are considered. Specific characteristics and criteria of the component levels of the information-technological culture for the future medium-level specialist are designated.*
***Keywords:*** *forming levels, components, information-technological culture.*

УДК 334

# ОПЫТ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭФФЕКТИВНЫХ МЕХАНИЗМОВ ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ МАЛОГО БИЗНЕСА

**И.А. ДУДАКОВА, Ю.В. ГЛАДКОВА**
(Донской государственный технический университет)

*Проведен анализ состояния развития малого бизнеса, особенностей и тенденций его развития в экономически развитых странах. На основе западного опыта в области создания структур поддержки и содействия становлению и развитию малого бизнеса сформулированы основные направления его адаптации к российским реалиям.*
***Ключевые слова:*** *малый бизнес; зарубежный опыт; бизнес-сети; государственная поддержка.*

**Введение.** Бурное развитие малого бизнеса в ведущих промышленно развитых странах связано с периодом становления экономики знаний. Малые предприятия, создаваемые в новых отраслях, смогли проявить свои преимущества в значительной мере благодаря использованию такого производственного ресурса, как инновации.

Прямое сравнение развития малого бизнеса в различных странах является весьма условным, а сопоставление с Россией носит лишь общий характер. Тем не менее, оценка накопленного знания относительно наиболее эффективных организационно-экономических механизмов обеспечения инновационного развития малого бизнеса в промышленно развитых странах позволяет адаптировать данные подходы к российским реалиям.

Сравнивая развитие малого бизнеса в экономически развитых странах и России, следует отметить, что история развития малого бизнеса в нашей стране и за рубежом отличается следующими моментами:

– развитие малого бизнеса в экономически развитых странах происходит поступательно, реагируя на общее развитие рыночных отношений и согласуясь с ним. В России малое предпринимательство развивалось рывками – полностью прекращая и возобновляя свое существование;

– если в промышленно развитых странах малый бизнес всегда существовал в рыночных условиях, то в современной России он сам является стимулятором рыночной экономики.

Интенсивный рост числа малых предприятий в странах с рыночной экономикой приходится на 80-е годы XX века. Это было связано с тем, что в экономической структуре промышленно развитых стран произошли качественные изменения, которые выразились в реструктуризации, поиске более высоких прибылей, снижении издержек производства. Одновременно у крупных корпораций появляется стремление к повышению гибкости своих структур путем вертикальной дезинтеграции производственных процессов и развития субподрядных отношений с большим числом мелких и средних фирм, использующих дешевую и малоквалифицированную рабочую силу.

В это же время начинает развиваться субконтрактная система между крупными предприятиями и малым бизнесом, поскольку усиление неопределенности, новые рыночные условия обусловили отказ крупных предприятий от производства промежуточного продукта на собственных фирмах. Произошло расширение сферы промышленных и предпринимательских услуг и их активное развитие.

В Европе появляются новые формы организации предпринимательства на основе новых технологий – промышленные округа, которые объединили малые фирмы в сетевые организации и позволили организовать множество кооперативных связей между предприятиями, а вместе с тем, и предоставление разнообразных услуг. Это позволило обеспечить занятость и в непроизводственной сфере (транспорте, строительстве, сфере банковских услуг). Органы власти всячески сти-

мулируют создание предпринимательских ассоциаций и консорциумов. В таблице представлена эволюция подходов к проблемам инноваций в промышленно развитых странах.

Эволюция подхода к проблемам инноваций в промышленно развитых странах*

| | *1970–1980-е годы* | *1990-е* | *Начало 21-го века* |
|---|---|---|---|
| Политика | Раздельно:<br>– научная и промышленная;<br>– общенациональная и региональная. | Системный подход к решению проблем инновационной политики | – Повышение наукоемкости отраслей;<br>– повышение устойчивости инновационных процессов |
| Основные направления воздействия на инновационную среду | Поддержка инноваций по отдельным направлениям:<br>– стимулирование НИОКР в компаниях;<br>– расширение финансирования инноваций;<br>– стимулирование инновационной деятельности и улучшение инновационного менеджмента в малых и средних фирмах;<br>– стимулирование кооперации между исследовательскими центрами, университетами и компаниями | – Поддержка кооперации на всех уровнях;<br>– совершенствование системы охраны интеллектуальной собственности;<br>– сохранение конкурентной среды | – Стимулирование инноваций в связи с процессами глобализации;<br>– выделение приоритетных направлений в связи с переходом к шестому технологическому укладу;<br>– реформирование функционирования всей национальной инновационной системы для повышения ее эффективности |
| Новые механизмы инновационной политики | – Создание инновационных кластеров;<br>– стимулирование организации новых инновационных компаний;<br>– упрощение административной и нормативной базы функционирования инновационных компаний;<br>– использование налоговых и прочих косвенных методов стимулирования НИОКР и инновационных процессов в экономике;<br>– просвещение общества о роли инноваций в экономике | | Новые формы партнерства государства и предпринимательского сектора |

**Поддержка малого бизнеса в США.** В США существует развернутая структура системы регулирования малого бизнеса, представленная на рис. 1. Наиболее актуальный для России опыт США по поддержке малого и среднего бизнеса заключаются в следующем:

– функционирование Администрации Малого Бизнеса (АМБ) как мощной федеральной организации, действующей по поручению и под контролем парламента на основе программно-целевого управления;

– особая роль муниципальных и региональных органов содействия малому и среднему бизнесу, создающих местные корпорации развития, консультационную, информационную и образовательную инфраструктуру, оказывающую услуги малому и среднему бизнесу на льготной основе;

– специальные квоты для малого и среднего бизнеса при распределении государственных заказов, в том числе военных и космических заказов крупным корпорациям;

– уникальный опыт венчурного финансирования и развития малых инновационных фирм в университетах, при крупных корпорациях и государственных научно-исследовательских институтах;

– финансовое содействие малому и среднему бизнесу не в виде прямых субсидий или льгот отдельным фирмам по усмотрению местных властей, а в виде целевых налоговых льгот и кредитов.

---

* Разработана нами по материалам: Кузнецов А.Н. Инновации как основа развития и совершенствования малых и средних предприятий сферы услуг: дис. … канд. экон. наук. – М., 2005.




Рис 1. Организационная структура системы регулирования малого бизнеса в США [1]

**Поддержка малого бизнеса в странах европейского сообщества.** Европейское сообщество на переломе столетий ясно осознало задачу перехода на новую парадигму экономического развития – новую инновационную политику, основанную на знаниях.

В странах ЕС политика государственного регулирования малого бизнеса разрабатывается и реализуется министерствами экономики, промышленности и торговли. Так, в министерствах экономики Германии и Голландии есть специальные отделы малого и среднего бизнеса. Во Франции аналогичный отдел создан в Министерстве промышленности. В Англии – Министерство по малому предпринимательству. Однако масштабы государственного регулирования заметно уступают американским (как и японским и южнокорейским). Например, в Англии нет специального законодательства по малому предпринимательству.

В начале нынешнего века Совет Европы сформулировал ряд конкретных задач стимулирования инновационного развития в ЕС. В их числе: увеличение доли затрат на НИОКР в ЕС с 1,9% ВВП в текущем периоде до 3% ВВП к 2010 г. (что и было реализовано) главным образом за счет ассигнований частного сектора (на две трети рост должен быть обеспечен частным бизнесом), дальнейшая вертикальная и горизонтальная координация инновационной политики в ЕС, а также создание единого Европейского исследовательского пространства с учетом реалий расширения ЕС [2].

С этой целью еще в 1984 г. была создана Европейская сеть бизнес-инновационных центров (European Business Network – EBN), которая является международной некоммерческой организацией. Ее учредителями являются Европейское сообщество и группа промышленников. Бизнес-сеть состоит из национальных сетей и является одним из важнейших элементов интегрированной Европейской инновационной системы. К 2000 г. в состав сети входило более 200 организаций, включая 150 бизнес-инновационных центров, расположенных в 21 стране Европы и дальнего зарубежья (Турция, Китай, США, Южная Америка и др.). Россия сотрудничает с EBN через ряд некоммерческих организаций [3].

При этом в рамках одной страны бизнес-инновационные центры объединяются в национальные бизнес-сети, в работе которых принимают участие:

- инкубаторы и бизнес-парки;
- торговые ассоциации;
- региональные и местные руководители;
- частные компании;
- агентства регионального развития;
- европейская комиссия и другие европейские организации;
- промышленные ассоциации;
- торгово-промышленные палаты;
- финансовые структуры;
- научные и технологические парки;
- университеты и исследовательские центры;
- другие международные сети.

Основной задачей таких центров является поддержка бизнесменов, работающих в сфере инноваций, и развивающихся инновационных фирм. При этом ставится цель вырастить новые инновационные фирмы или перенастроить уже имеющиеся таким образом, чтобы они уже рассматривались как часть процесса промышленного планирования. Эти фирмы начинают взаимодействовать с публичными или частными структурами на основе соглашений, предусматривающих их участие в региональном и местном развитии. Широкая сфера охвата дает возможность оказывать различные услуги по развитию фирм и наладить кооперацию со специализированными сервисными службами.

Особую роль бизнес-инновационные центры играют в регионах, не обладающих высокой инновационной активностью, не имеющих развитого научно-технического или инновационного потенциала, позволяющего им интенсивно развиваться. Для России это имеет большое значение, способствующее развитию малого бизнеса в сфере услуг.

**Поддержка малого бизнеса в Японии.** В Японии функционирует специальная правовая система малого бизнеса. В организационную структуру регулирования малого бизнеса входят (рис.2):

- Правление по малому и среднему предпринимательству при Министерстве внешней торговли;
- Национальная корпорация по функционированию малого и среднего бизнеса;
- Государственная корпорация по функционированию малого и среднего бизнеса;
- региональные службы Министерства внешней торговли и промышленности;
- инвестиционные корпорации мелкого предпринимательства;
- Государственная корпорация по страхованию и функционированию для малого бизнеса;
- ассоциация по гарантированию займов;
- комиссия по справедливым сделкам – правительственный орган, контролирующий выполнение антимонопольного законодательства.




Рис. 2. Организационная структура развития малого бизнеса в Японии [4]

Государственная система поощрения исследований и разработок, обеспечивающих инновационное развитие малого бизнеса, подразделяется в Японии на следующие типы:

1. Государственные дотации и субсидии, подавляющая часть которых направляется на университетские исследования.

2. Финансирование инвестиций в НИОКР и предоставление целевых займов под конкретные исследовательские проекты. Это происходит несколькими путями: а) предоставление низкопроцентных кредитов для коммерциализации важных промышленных технологий и строительства важных исследовательских объектов; б) заключение контрактов с частными компаниями на коммерческое освоение результатов, полученных государственными научно-исследовательскими учреждениями; в) посредничество в организации совместных исследований частных компаний и государственных НИИ, выполнение поручительских исследований со стороны частного сектора, приглашение в Японию по запросам фирм иностранных ученых, сбор и предоставление научно-технической информации о промышленной технологии.

3. Предоставление налоговых льгот для стимулирования роста расходов частных корпораций на НИОКР вне зависимости от области научно-исследовательских работ. Если расходы корпо-

рации на НИОКР в данном финансовом году превышают наивысший уровень этих расходов за прошлые годы, то 20% суммы превышения вычитывается из налога на прибыль корпораций. Аналогичная по характеру система действует специально для малого бизнеса, отличие в том, что 6% расходов на НИОКР вычитается из налога на прибыль.

Япония находится в процессе реформирования своей модели научно-технического и инновационного развития. Некоторое отставание страны от США в сфере информационных технологий побудило японское правительство в январе 2001 г. принять закон о формировании информационного общества.

**Выводы.** Зарубежный опыт позволяет выделить следующие наиболее важные для России элементы поддержки малого бизнеса:

– институциональный характер поддержки, включающий организационное, информационное, правовое, кадровое и финансовое обеспечение;

– соединение усилий государства, муниципалитетов, общественных организаций и благотворительных фондов;

– дифференциация налогообложения с учетом особенностей сферы деятельности (особое внимание уделяется наукоемким и экологичным технологиям), социального статуса предпринимателей (особые льготы для молодежи, женщин, национальных меньшинств, инвалидов, пенсионеров) и развития региона (льготы для депрессивных регионов);

– инкубаторы, технопарки и технополисы как формы организации наукоемкого малого и среднего бизнеса;

– промышленные зоны как сфера сотрудничества крупного и малого бизнеса;

– отказ от субсидий в пользу косвенных форм стимулирования малого и среднего бизнеса.

Обобщая опыт промышленно развитых стран в области создания структур поддержки и содействия становлению и развитию малого бизнеса в сфере инноваций, можно сформулировать следующие основные направления его адаптации к российской действительности.

1. Первоочередной задачей должно стать приведение структуры государственных органов поддержки инновационного бизнеса в соответствие с «Концепцией долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2020 г.» [5].

2. Перспективные фундаментальные исследования, позволяющие обеспечить дальнейшее развитие страны, должны выполняться за счет государства и грантов, выдаваемых различными коммерческими и некоммерческими организациями.

3. Приток средств в фундаментальную науку можно обеспечить за счет применения косвенных мер стимулирования инвестирования со стороны негосударственного сектора.

4. Прикладные технологии должны создаваться в непосредственной близости с объектами промышленности, а именно – в научных подразделениях индустриальных корпораций или в самостоятельных научных организациях в соответствии с заказами промышленных компаний.

5. Для поощрения заинтересованности предприятий промышленности в инновациях и вложениях в отечественную науку можно использовать как меры косвенного стимулирования (например, ускоренная амортизация или льготное налогообложение), так и проведение научных исследований в соответствии с текущими промышленными нуждами и обеспечение передачи прав на результат инновационной деятельности самому заказчику.

6. Основные фонды российских научно-исследовательских организаций в большинстве случаев несоразмерно велики, и их содержание в прежнем виде требует значительных средств и по большей части неоправданно, что сказывается на стоимости разработок. В промышленно развитых странах эта проблема была решена с помощью научных и технологических парков, когда в одном месте была сосредоточена вся необходимая инфраструктура, а при помощи специальных экономических зон (СЭЗ) молодые наукоемкие фирмы получили возможность максимального использования льготного режима на самом сложном этапе развития инновационного бизнеса – стартовом. Возможности организации научных исследований на базе СЭЗ, в принципе, исключают большие непроизводственные затраты, обеспечивают большую маневренность в привлечении и выполнении заказов.

7. Для обеспечения массового и реального спроса на НИР возможно использовать опыт создания и функционирования федеральной информационной системы для бизнеса в США на основе уже существующей системы поддержки малого предпринимательства в Интернете [6].

8. Полностью самостоятельное финансирование собственных исследований государственными научными центрами приведет лишь к тому, что им придется сосредоточиться лишь на коммерческой сфере, бюджетное же финансирование позволит проводить научные разработки на перспективу (поисковые исследования) и обеспечить работу по подготовке кадров. Опыт других стран показывает, что здесь весьма эффективными оказываются государственные программы, которые предоставляют венчурное финансирование под инновационные проекты, предлагаемые малым и средним бизнесом.

**Библиографический список**

1. Дагаев А. Государственные гарантии для малого инновационного бизнеса / А. Дагаев // Проблемы теории и практики управления. – 2006. – № 2. – С. 84–85.

2. Создание инновационной Европы / Независимая экспертная группа по НИОКР и инновациям. – 2006. [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: http://europa.eu.int/invest-in-research/.

3. Фонд содействия развития малых форм предприятий в научно-технической сфере; Союз Инновационно-технологических центров России; Российская сеть трансфера технологий // Информационный портал. [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: www.rttn.ru/news/id_?&lang=rus.

4. Япония сегодня // Энциклопедия «Япония от А до Я». [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: http://slovari.yandex.ru/Япония от А до Я / Малый бизнес/.

5. Концепция долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2020 г. / Правительство РФ. – 17.01.2008 г.

6. Российский деловой портал информационной поддержки малого предпринимательства. [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: http://www.allmedia.ru/.

Материал поступил в редакцию 13.05.11.

**References**

1. Dagaev A. Gosudarstvenny`e garantii dlya malogo innovacionnogo biznesa / A. Dagaev // Problemy` teorii i praktiki upravleniya. – 2006. – # 2. – S. 84–85. – In Russian.

2. Sozdanie innovacionnoj Evropy` / Nezavisimaya e`kspertnaya gruppa po NIOKR i innovaciyam. – 2006. [E`lektron. resurs]. – Rezhim dostupa: http://europa.eu.int/invest-in-research/. – In Russian.

3. Fond sodejstviya razvitiyu maly`x form predpriyatij v nauchno-texnicheskoj sfere; Soyuz Innovacionno-texnologicheskix centrov Rossii; Rossijskaya set` transfera texnologij // Informacionny`j portal. [E`lektron. resurs]. – Rezhim dostupa: www.rttn.ru/news/id_?&lang=rus. – In Russian.

4. Yaponiya segodnya // E`nciklopediya «Yaponiya ot A do Ya». [E`lektron. resurs]. – Rezhim dostupa: http://slovari.yandex.ru/Yaponiya ot A do Ya/Maly`j biznes/. – In Russian.

5. Koncepciya dolgosrochnogo social`no-e`konomicheskogo razvitiya Rossijskoj Federacii na period do 2020 g. / Pravitel`stvo RF. – 17.01.2008 g. – In Russian.

6. Rossijskij delovoj portal informacionnoj podderzhki malogo predprinimatel`stva. [E`lektron. resurs]. – Rezhim dostupa: http://www.allmedia.ru/. – In Russian.

## EXPERIENCE OF PROVIDING EFFECTIVE MECHANISMS FOR SMALL BUSINESS INNOVATIVE DEVELOPMENT

**I.A. DUDAKOVA, Y.V. GLADKOVA**
(Don State Technical University)

*Small business situation, characteristics and trends of its development in the economically developed countries are analyzed. On the basis of the western experience in creating support structures and promoting the innovative development of small business, the primary areas of its adaptation to the Russian realities are formulated.*
***Keywords:*** *small business, foreign experience, business networks, state backing.*

УДК 37.013.32, 37.026

# СТРУКТУРНАЯ МОДЕЛЬ ИНФОРМАЦИОННО-ПЕДАГОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ ОБУЧЕНИЯ МАТЕМАТИКЕ И ИНФОРМАТИКЕ В КОНТЕКСТЕ КОМПЕТЕНТНОСТНОГО ПОДХОДА

**С.Б. ПЕТРЕНКОВА**
(Донской государственный технический университет)

*Статья посвящена вопросам моделирования информационно-педагогической среды обучения дисциплине «Математика и информатика». Рассмотрены принципы внутрипредметной и межпредметной интеграции, представлена структурно-функциональная модель информационно-педагогической среды обучения дисциплине «Математика и информатика».*
***Ключевые слова:*** *информационно-педагогическая среда, структурно-функциональная модель, дисциплина «Математика и информатика».*

**Введение.** В условиях высоких темпов развития информационных технологий и компетентностного подхода к обучению необходимы коренные изменения форм и методов обучения для активизации познавательной деятельности студентов. Для многих гуманитарных специальностей введен интегрированный курс «Математика и информатика» в цикле «Естественнонаучные дисциплины».

В результате изучения этого курса студенты должны освоить представления:

– о месте и роли математики в современном мире, мировой культуре и истории;

– о математическом мышлении, индукции и дедукции в математике, принципах математических рассуждений и математических доказательств;

– о понятии «информация», методах ее хранения, обработки и передачи, о проблемах искусственного интеллекта, роли математики и информатики в исследованиях;

– о структуре, принципах работы и основных возможностях компьютерных систем.

Они должны уметь:

– использовать аппарат математического анализа, алгебры, геометрии, дискретной математики и математической логики, теории дифференциальных уравнений и численных методов, теории вероятности и математической статистики;

– пользоваться программным инструментарием компьютерной информационной технологии для работы на локальном компьютере и в компьютерной сети, с документами и текстами, с данными, представленными в табличной форме.

По завершении курса студенты должны владеть следующими общекультурными компетенциями (ОК) дисциплины (в скобках указаны ОК, соответствующие Федеральному государственному образовательному стандарту по направлению подготовки «Реклама и связи с общественностью»):

– умение логически верно, аргументированно и ясно строить устную и письменную речь (ОК-2);

– готовность к кооперации с коллегами, работе в коллективе (ОК-3);

– стремление к саморазвитию, повышению своей квалификации и мастерства (ОК-6);

– использование основных законов естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, умение применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования (ОК-10);

– способность понимать сущность и значение информации в развитии современного информационного общества, сознавать опасности и угрозы, возникающие в этом процессе, соблюдать основные требования информационной безопасности, в том числе защиты государственной тайны (ОК-11);

– владение основными методами, способами и средствами получения, хранения, переработки информации, иметь навыки работы с компьютером как средством управления информацией (ОК-12);

– способность работать с информацией в глобальных компьютерных сетях (ОК-13).

Как видно из перечисленного выше списка, большая часть общекультурных компетенций начинает формироваться при изучении курса «Математика и информатика».

**Интегративные характеристики дисциплины «Математика и информатика».** Традиционное содержание курса основано на двух компонентах: математике и информатике, каждый из которых представлен своей предметной областью, целями и задачами изучения, соответствующими им методиками и технологиями обучения. Так, например, основными методами преподавания высшей математики являются перцептивные объяснительно-иллюстративные (лекции, демонстрации) и логические репродуктивные (практические) методы. Изучение информатики, помимо объяснительно-иллюстративных методов, прежде всего предполагает использование лабораторного метода и методов программированного обучения.

Интеграция предполагает не только соединение в одной дисциплине компонентов разных учебных предметов, их методик и технологий, но и использование технологий одной дисциплины для лучшего освоения другой, когда один из учебных предметов выступает инструментарием для изучения другого и, наоборот, при этом происходит интеграция сознания и знания. Интеграция математики и информатики должна представлять не только формальное соединение разных знаний в новый учебный предмет, но и соединять изучаемые и различные по своей семантике предметные области в сознании студента в единую ментальную структуру.

Рассмотрим интеграцию содержания данной дисциплины. Теоретические основы математики и информатики в данном курсе необходимы. Их изложение объяснительно-иллюстрационным лекционным методом соответствует традиционной дидактике обучения. Теоретические основы любой науки необходимы студентам, и там, где нет необходимости, не следует отходить от классического изложения материала. Но формы реализации данного метода в условиях информационно-педагогической среды существенно меняются. Мультимедийные средства среды позволяют, соединив видеоизображение, звук и анимацию в единое целое, многие математические абстракции продемонстрировать на конкретных, доступных для понимания примерах. Мультимедийная лекция представляет собой многофункциональное средство обучения, в отличие от традиционной ее технологии представления и подачи материала положительно влияет на продуктивность, уровень усвоения знаний, а также играет существенную роль для мотивации обучающихся. Информационная, мультимедийная среда – «многоаспектная целостная социально-психологическая реальность, обеспечивающая совокупность необходимых психолого-педагогических условий, современных технологий и программно-методических средств обучения, предоставляющих необходимое обеспечение познавательной деятельности обучающегося и доступа к информационным ресурсам» [1, с. 20].

Интегративный метод изучения математики дает конкретный инструментарий решения задач высшей математики средствами компьютерных систем. Для специальностей, непрофильных по отношению к математике достаточно ознакомиться с теоретическими основами курса и научиться использовать компьютерные системы математики для решения задач. К системам компьютерной математики отнесем MathCad, Maple, MatLab.

В процессе обучения и в образовательных дисциплинах интегрируется не содержание как таковое. В образовательной системе происходит последовательная интеграция знания, мышления и сознания. Деятельность педагога обеспечивает этот процесс и рассматривается нами как основной интеграционный механизм. Информационно-педагогическая среда обучения позволяет многократно усилить данный процесс [2].

Интеграция образования представляет собой процесс осуществления обучающимися последовательного перевода информации с одного учебного языка на другой, в результате которого

происходит усвоение знаний, формирование понятий, возникновение и реализация личностных смыслов.

**Содержательные компоненты дисциплины «Математика и информатика».** Обучение математике и информатике в высшей школе есть процесс освоения общекультурных и профессиональных компетенций, реализующий целеполагающие личностные смыслы студентов и способы их социального и профессионального взаимодействия с окружающим миром. Поэтому содержание курса «Математика и информатика» определяется совокупностью этих смыслов и способов. С помощью специальных операций они трансформируются в содержание образовательных программ [3]. Для этого из общего содержания курсов классической математики и информатики, совокупного социального и профессионального опыта должны отбираться те фрагменты, которые соответствуют общей системе целей и задач образовательного процесса.

Отбор происходит по следующим основным направлениям:

1. Создается совокупность общекультурных и профессиональных компетенций, на основании которых человек вступает в профессиональные и социальные взаимодействия.

2. На основе указанной совокупности компетенций происходит знаниевый и информационный отбор содержания дисциплины, устанавливается прямое согласование объектов и методов учебного курса с компонентами общепрофессиональных и специальных дисциплин. Строятся прямые и обратные связи между математикой, информатикой и общепрофессиональными и специальными учебными курсами.

3. Проводится психологическое и социальное обследование контингента для выявления адаптационных методов, способов и технологий обучения, на основе которого формируется технологическая (методическая) составляющая курса. Обучение не просто передает содержание дисциплины (знаниевая концепция), оно преобразует студента в соответствии с общекультурным и профессиональным целеполаганием. Мера качественных изменений содержания образования как части профессионального опыта, отобранного и структурированного профессионалами, определяет меру взаимозависимости общих курсов математики и информатики от конкретных специальностей.

Рассмотрим принципы построения курса, на основе которых может быть достигнуто повышение интереса к предмету и рост уровня обученности студентов, на примере одной из учебных дисциплин направления бакалавриата и образовательных программ для получения высшего образования 031600 «Реклама и связи с общественностью». В основу математической и информационно-технологической (ИТ) подготовки должна быть положена предметная специфика учебных курсов, отражающая теоретическую, методическую и технологическую сопряженность математических и специальных дисциплин.

Учебно-методический комплекс дисциплины «Математика и информатика» для рекламистов должен опираться на информационную модель профессионального проектирования, анализ предметного содержания, установление межпредметных интеграционных связей между изучаемым материалом и профессиональной сферой деятельности.

Направление подготовки «Реклама и связи с общественностью» относится к полипредметным, так как интегрирует знания различных дисциплин (гуманитарных, в том числе социально-экономических, естественных, математических, ИТ-дисциплин). Постановка профессионально-ориентированных задач требует весьма глубоких знаний, относящихся и к математической науке, и к профессиональной области. Здесь необходим анализ содержания профессиональных дисциплин и содержания математической подготовки, что позволит обеспечить системное соответствие фундаментального теоретического и профильных компонентов курса. Такой анализ является основой построения интегрированного учебно-методического комплекса (УМК) курса.

Нами проведен структурно-семантический анализ курса «Математика и информатика», общепрофессиональных дисциплин и специальных дисциплин направления подготовки «Реклама и связи с общественностью». Фрагмент схемы анализа представлен в таблице.

Корреляция общепрофессиональных и специальных дисциплин направления подготовки «Реклама и связи с общественностью» и курса «Математика и информатика»

| Профильные дисциплины направления подготовки «Реклама и связи с общественностью» | Приобретаемые знания, умения и компетенции | |
|---|---|---|
| | профессиональные | по дисциплине «Математика и информатика» |
| Менеджмент в рекламе | – Исследование влияния рекламной деятельности на прибыль предприятия.<br>– Анализ стратегии действий.<br>– Прогнозирование результатов рекламной кампании | – Определение вероятности случайных событий.<br>– Решение комбинаторных и статистических задач.<br>– Вычисление предельных значений функций, моделирующих различные процессы и явления |
| Социология рекламной деятельности | – Социологические факторы возникновения рекламы как массового явления. Массовое сознание как объект рекламы.<br>– Реклама и ценностные ориентации общества. Инновационные процессы в обществе и их механизмы; роль рекламы в инновационных процессах.<br>– Социологические исследования аудитории и средств массовой коммуникации.<br>– Социологическое обеспечение рекламной кампании. Социальное влияние рекламы. Социальная эффективность рекламы | – Определение статистических показателей генеральной совокупности. Группировка статистических данных и анализ статистических данных.<br>– Графическая интерпретация статистических данных.<br>– Статистические распределения и их основные характеристики.<br>– Теоретические основы выборочного наблюдения.<br>– Корреляционный анализ |
| Разработка и технологии производства рекламного продукта | – Копирайтинг. Креатив в рекламе. Художественный и компьютерный дизайн в рекламе. Режиссура рекламы. Теория и практика фоторекламы. Основы операторского искусства и сценарного мастерства. Технологии производства рекламной продукции | Владение технологией работы в программах обработки изображений. Векторная и растровая графика. Графический инструментарий. Форматы хранения графических изображений |

Методическое согласование курса «Математика и информатика» с профессиональными дисциплинами специальности обеспечивают интеграционные связи: прямые (от профессиональных дисциплин к содержанию курса «Математика и информатика») и обратные (от курса «Математика и информатика» к профессиональным дисциплинам). А также внутренние связи, характеризующие интеграцию содержания информатики и математики, тематическое согласование дисциплины.

Информационная модель профессионального построения УМК курса «Математика и информатика» реализует содержательное, методическое и технологическое согласование математики, информатики, профессиональных дисциплин, позволяет учитывать профильные компоненты, отражающие специфику предметной области. Предмет перестает быть ненужным, навязанным извне, тем самым появляется дополнительная мотивация для его изучения.

Учебно-методический комплекс дисциплины «Математика и информатика» включает:

– совокупность нормативных документов, регламентирующих учебно-организационную деятельность образовательного процесса всех уровней: федерального, регионального, вузовского. В частности, федеральный образовательный стандарт, примерную учебную программу, рекомендованную учебно-методическим объединением направления, рабочую программу, календарный график;

– конспект лекций, электронные презентации лекций;

– учебно-методические материалы, состоящие из методических указаний к выполнению лабораторных и практических работ, решению типовых задач, выполнению курсовых работ;

– примеры выполнения индивидуальных заданий, типовых расчетов, курсовых работ;

– базы данных учебных заданий, содержащих индивидуальные задания, типовые расчеты, описания лабораторных и практических работ;

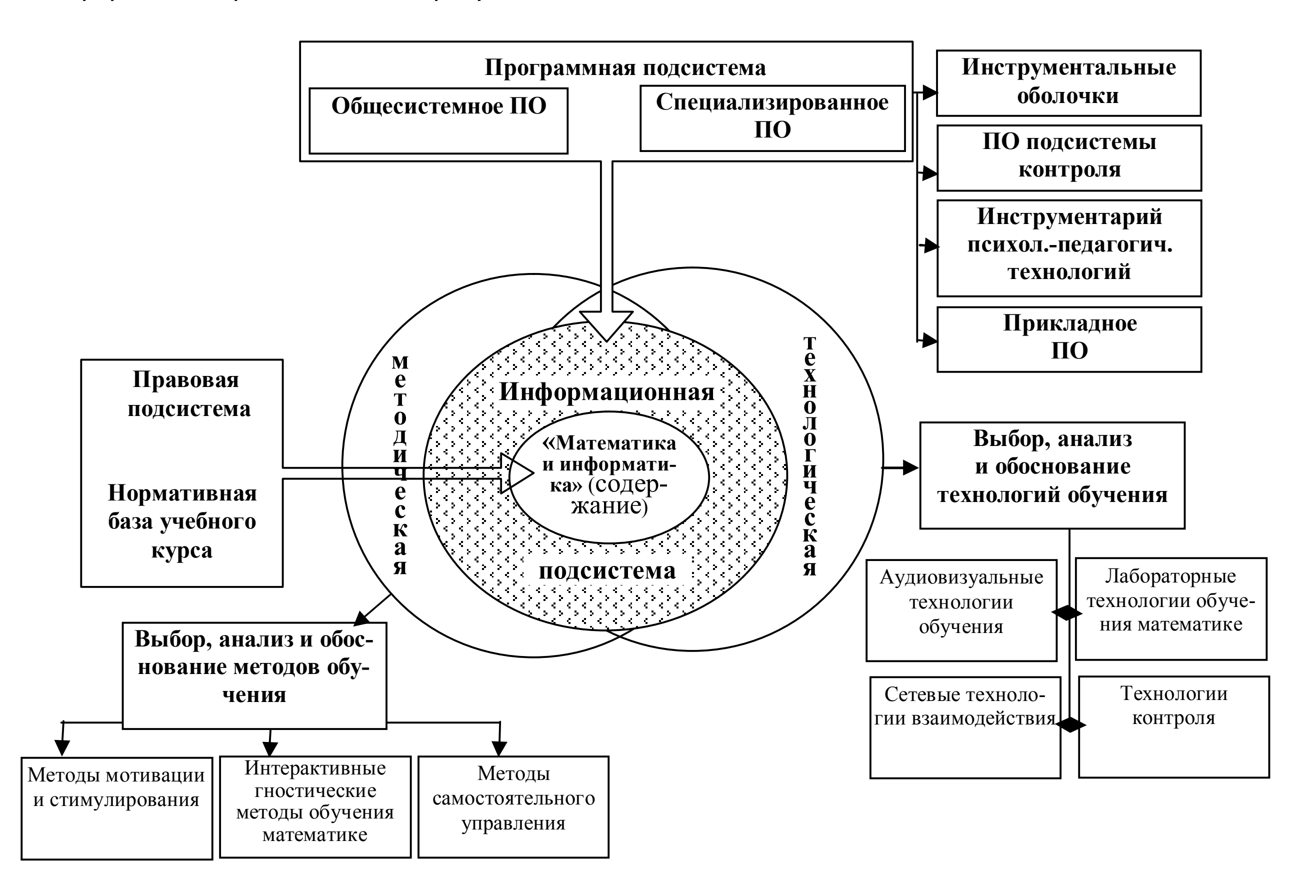
– экзаменационные вопросы, тесты (для оценки отдельных дидактических единиц, для общей оценки блоков, экзаменационные), задания для самостоятельных и контрольных работ;

– электронную библиотеку дисциплины.

Интерактивный компонент включает компьютерные системы тестирования (в контролирующем и тренажерном режимах), интерактивные версии тестовых заданий, компьютерные версии лабораторных работ. Информационная дидактическая поддержка УМК осуществляется с помощью учебной локальной сети кафедры, web-сайта информационно-педагогической среды.

Теоретические основы построения учебно-методического комплекса формируются исходя из анализа основных компонентов содержания математики и информатики, в котором выделяются: онтологический, нормативный, методический, технологический и информационный [4].

**Структурная модель информационно-педагогической среды обучения.** Построение информационно-педагогической среды дисциплины определяется порядком формирования ее составляющих компонентов. Последовательность их конструирования отражает движение учебных знаний от сущностных признаков к технологическим, что соответствует этапам логической цепочки: содержание → методики → технологии обучения. При этом происходит интеграция в единую комплексную систему разнородных компонентов информационной, методической и технологической подсистем. Структурная модель информационно-педагогической среды обучения математике и информатике представлена на рисунке.




Структурная модель информационно-педагогической среды обучения  дисциплине «Математика и информатика»

К особенностям данной дисциплины следует отнести ее интеграционный характер – междисциплинарный синтез математики и информатики. Именно поэтому информационная, методи-

ческая и технологическая подсистемы интегрируют содержание этих двух составляющих, их методики и технологии обучения. Методическая подсистема отвечает за выбор, анализ и обоснование методов обучения. В нашей модели используются методы мотивации и стимулирования, интерактивные гностические методы обучения, методы самостоятельного управления. Технологическая подсистема представляет собой модель дидактического процесса, гарантирующую успех педагогических воздействий, формирование общекультурных и специальных компетенций. Эта подсистема реализует анализ, отбор и обоснование выбранных технологий обучения. В представляемой нами модели мы используем такие технологии, как аудиовизуальное обучение, технологии сетевого воздействия, технологии лабораторного практикума, технологии контроля.

Правовая подсистема предназначена для формирования содержания учебного курса, отвечающего нормативной базе, государственным образовательным стандартам, примерной и рабочей программе данной учебной дисциплины.

Содержание курса «Математика и информатика» требует наличия материально-технической базы, позволяющей вести обучение с использованием компьютерных средств и лицензионного программного обеспечения, отвечающего требованиям образовательного стандарта. Кроме программного обеспечения (ПО), входящего в состав обязательного к изучению студентами, в нашей модели присутствует ПО подсистемы контроля, инструментарий психолого-педагогического воздействия, инструментальные оболочки и прикладное ПО.

Кроме того, технологическая подсистема обеспечивает следующие основные функции: описательную, объяснительную и проектировочную.

– ***описательная*** показывает основные стороны практической реализации учебной деятельности. Это необходимо для того, чтобы различные преподаватели, используя соответствующий инструментарий, могли одинаково реализовывать образовательный процесс;

– ***объяснительная*** предназначена для выявления результативности и эффективности различных дидактических объектов обучения и определения их оптимального сочетания;

– ***проектировочная*** реализует описание учебного процесса на всех уровнях, включая реализуемый уровень педагогической действительности.

**Заключение.** Моделирование интегрированного курса «Математика и информатика» в компетентностном формате при условии его изучения в информационно-педагогической среде дает не только возможность приобрести необходимые общекультурные и специальные компетенции, но и позволяет решать воросы реализации личностных смыслов студентов, обеспечивает активизацию позновательной деятельности. Именно поэтому можно говорить о том, что реализм функциональной модели информационно-педагогической среды дисциплины «Математика и информатика» в ее технологичности, в реальной возможности практического внедрения в учебный процесс.

**Библиографический список**

1. Андерсен Б.Б. Мультимедиа в образовании: специализированный учебный курс / Бент Б. Андерсен, Катя ван ден Бринк. – М.: Дрофа, 2007. – 224 с.

2. Петренкова С.Б. Проектирование информационно-педагогической среды обучения / С.Б. Петренкова, Е.В. Рашидова // Педагогические науки. Известия Южного федерального университета. – 2009. – № 11. – С. 159–164.

3. Смирнова Н.В. Структурно-функциональные характеристики образовательного процесса / Н.В. Смирнова // Теоретический журнал CREDO – 2001. – № 25. – С. 58–64.

4. Авдеева С.М. Учебные материалы нового поколения, разрабатываемые в проекте «Информатизация системы образования» / С.М. Авдеева // Мастер-класс: приложение к журналу «Методист». – 2008. – № 3. – С. 2–10.

Материал поступил в редакцию 30.05.11.

**References**

1. Andersen B.B. Mul`timedia v obrazovanii: specializirovanny`j uchebny`j kurs / Bent B. Andersen, Katya van den Brink. – M.: Drofa, 2007. – 224 s. – In Russian.

2. Petrenkova S.B. Proektirovanie informacionno-pedagogicheskoj sredy` obucheniya / S.B. Petrenkova, E.V. Rashidova // Pedagogicheskie nauki. Izvestiya Yuzhnogo federal`nogo universiteta. – 2009. – # 11. – S. 159–164. – In Russian.

3. Smirnova N.V. Strukturno-funkcional`ny`e xarakteristiki obrazovatel`nogo processa / N.V. Smirnova // Teoreticheskij zhurnal CREDO. – 2001. – # 25. – S. 58–64. – In Russian.

4. Avdeeva S.M. Uchebny`e materialy` novogo pokoleniya, razrabaty`vaemy`e v proekte «Informatizaciya sistemy` obrazovaniya» / S.M. Avdeeva // Master-klass: prilozhenie k zhurnalu «Metodist». – 2008. – # 3. – S. 2–10. – In Russian.

## STRUCTURAL MODEL OF INFORMATION-EDUCATIONAL ENVIRONMENT FOR TEACHING MATHEMATICS AND COMPUTER SCIENCE IN CONTEXT OF COMPETENCY BUILDING APPROACH

**S.B. PETRENKOVA**
(Don State Technical University)

*The article is devoted to the matters of modeling the information-pedagogical environment for teaching the discipline of 'Mathematics and Information Science'. Principles of the intra- and intersubject integration are considered. The structure functional model of the information-pedagogical environment for teaching the discipline of 'Mathematics and Information Science' is presented.*
***Keywords:*** *information-pedagogical environment, structure functional model, discipline of 'Mathematics and Information Science'.*

УДК 368:005.571.11:332.1

# МОДЕРНИЗАЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ СТРАХОВАНИЯ БИЗНЕСА В СИСТЕМЕ ФИНАНСОВ РЕГИОНА

**Н.М. ОВАНЕСЯН**
(Донской государственный технический университет),
**В.М. БЕЛОУСОВ**
(Институт по переподготовке и повышению квалификации Южного федерального университета)

*Показано, что необходимость оптимизации институциональной структуры региональных рынков при соблюдении принципа абсолютного доминирования унифицированных правил и норм развития национальной страховой системы обуславливается тенденцией специализации отечественных страховщиков и изменением отраслевых пропорций страхового бизнеса.*
***Ключевые слова:*** *маркетинг региона, модернизация, региональный страховой рынок, риски, финансовый кризис, экономика региона.*

**Введение.** Новые условия хозяйствования в России, определяемые процессами глобализации и либерализации финансовых отношений, формированием модели инновационно-социального развития страны активизировали деятельность страховых институтов в направлении увеличения их финансовой устойчивости, роста капитализации, развития филиальной сети. Процессы модернизации финансовых отношений поставили задачи выявления причин неэффективного управления рисками экономических агентов в условиях реализации общесистемных факторов роста и, прежде всего, инвестиционных ресурсов.

Процесс деформализации правил в условиях модернизации экономики России, снижая эффективность формальных институтов, созданных в 1990-х – начале 2000-х гг., одновременно способствовал стабилизации институциональной среды [1, 2]. Согласно позиции В. Радаева, деформализация правил – это «непрерывная трансформация институтов, в ходе которой формальные правила в значительной мере замещаются неформальными и встраиваются в неформальные отношения» [1, с. 63]. Подобная тенденция, по мнению ученого, возникает в ситуации, когда экономические агенты, будучи более или менее осведомлены о существующих формальных правилах, далеко не всегда выполняют их предписания. В России, например, проявилась несовместимость этих правил со сложившейся практикой, что способствовало замещению их неформальными нормами.

**Формирование новых методологических инструментов анализа страховых отношений** отличается включением в их число неэкономических факторов, таких как информационный капитал, кредит доверия правительству или репутация фирмы [3]. В современных исследовательских работах используются такие новые индексы, характеризующие долю рынка, качество и размер нематериальных активов компаний, нематериальные активы, систему сбалансированных показателей, институциональную структуру экономической системы, как индекс либерализации, индекс «сетевого развития» [4].

Характеризуя современный российский страховой рынок, следует отметить неразвитость или отсутствие многих необходимых для устойчивого эффективного функционирования рынка институтов, присущих страховым рынкам развитых стран. В этой связи важна разработка или адаптация западного опыта не только по новым видам и технологиям страхования (например, страхование ответственности за качество, страхование интеллектуальной собственности и т. п.), но и в отношении формирования услуг деловой и институциональной инфраструктуры, активизации использования услуг страховщиков в социальной сфере России. Для определения путей ин-

тенсификации роста российского страхового рынка объективно требуется исследование его современной структуры, выявление свойственных данному рынку искажений и диспропорций.

Совокупность всех институтов общества образует его **институциональную структуру** – определенный упорядоченный набор институтов, создающих матрицы экономического поведения, определяющих ограничения для хозяйствующих субъектов, которые формируются в рамках той или иной системы координации хозяйственной деятельности. В современной экономической литературе понятие «институциональная структура» верифицируется специфически в рамках того или иного концептуального подхода. Зачастую не проводятся разграничения между дефинициями «институциональная структура» и «институциональная среда».

Наряду со значительным количеством публикаций, посвященных конкретным проблемам модернизации финансовых отношений на основе внедрения новых инструментов управления рисками, появились работы, в которых сделаны попытки выявить общие закономерности процесса развития страховых отношений, определить институциональный механизм и вектор институциональных изменений [5]. Новый раздел теоретической экономики, направленный на формирование методологии развития общей теории реформ, безусловно, опирается на эволюционную институциональную теорию и институциональный анализ.

**Институционализм не является единой теорией**, в его рамках возникли и получили развитие разные подходы и концепции, рассматривающие многообразный круг проблем. Неоинституционалисты полагают, что их работа объединена общим ядром, масштабным фундаментальным подходом, который направлен на изучение широкого круга эмпирических проблем. Методологическое значение институционализма в том, чтобы направлять научные исследования [6]. Основная черта нового институционализма – отказ от описательности в пользу теории, использование количественных методов анализа экономических явлений.

*Механизм этого подхода состоит не столько в «возвращении» государства и других политических институтов в экономическое исследование, сколько в стремлении «вспомнить историческую, философскую, социокультурную и политическую традиции, в умении использовать изощренные исследовательские методы и инструменты* [7, с. 61]. Современный институциональный подход стремится осуществить «методологический синтез».

Страхование формировалось как механизм защиты от конкретных обстоятельств, угрожавших на данном историческом этапе благополучию потенциальных покупателей в наибольшей степени. В рамках традиционной общности именно личные связи и отношения являются предпосылкой для получения любой помощи, поддержки, защиты, удовлетворения хозяйственных, личных потребностей. Объективные условия возникновения отрицательных последствий производственной деятельности, а следовательно, и потребности в возмещении ущерба привели к формированию соответствующих страховых интересов участников экономических отношений. По мере усложнения и специализации общественных отношений возрастали ценности, способствующие развитию самостоятельности отдельных членов сообществ, формированию норм поведения, являющихся предпосылками возникновения института страхования.

**Особенность развития страхования – его двойственная зависимость от внешней среды.** С одной стороны, потребность в страховых услугах определяется наличием рисковых обстоятельств и их осознанием агентами рынка, с другой – возможностями отвлечения средств от производственного и личного потребления с целью приобретения этих услуг. Формой реализации страховой защиты является услуга. Потребность в ней – необходимое условие становления и развития рыночной инфраструктуры. Именно в процессе предоставления страховой услуги проявляется и оформляется место страхования в рыночном хозяйстве.

Основные направления в большинстве из них в разной интерпретации являются факторами и способами развития страхования: укрепление финансовой устойчивости и капиталоемкости страховых компаний; совершенствование правовой базы страхования; создание благоприятных налоговых условий для развития страховых отношений; развитие обязательных и расширение

количества добровольных видов страхования; правовое финансовое обеспечение государственного страхового надзора. Подобную позицию занимают и представители зарубежных страховых рынков, стремящиеся оказать помощь развитию страхования в России. Так, содействие мирового страхового сообщества развитию рынка страхования в нашей стране в рамках проекта TASIS оказывалось по трем главным направлениям: совершенствование законодательной базы страхования; техническое содействие Всемирному союзу страховщиков и органу государственного страхового надзора; прямое содействие отдельным страховым компаниям.

Однако в правительственных документах, определяющих пути развития страхового рынка, региональная стратегия страхования практически отсутствует. Это замечание в полной мере можно отнести к «Концепции развития страхования в Российской Федерации», где декларируются общие основы функционирования страхования, но концептуальная основа развития страхования в региональном аспекте в части субъектов Российской Федерации (а ведь именно там концентрируются основные проблемы российского страхования) отсутствует.

*Страховой рынок в России во многом уже сформирован, конкуренция достаточно высока, и сейчас, как никогда ранее, необходимо хорошо знать возможности конкретного региона,* объем рынка и перспективы его изменения, прежде чем принимать решение об открытии нового филиала или об инвестировании средств в развитие существующего. Эффективное управление и развитие страхования в регионе предполагает анализ системы региональных факторов, определяющих его формирование и функционирование. К их числу можно отнести исторические, природно-ресурсные, этнические, экономические, политические факторы. Наряду с этим целесообразно учитывать внутрирегиональные и межрегиональные связи.

Однако в результате подрыва ресурсной базы развития страхования финансовым кризисом, исчерпания внутренних резервов экстенсивного роста и окончания очередного этапа раздела столичного рынка региональные страховщики оказались в поле действия двух мощных процессов. С одной стороны, резко сократились источники их формирования и функционирования, а с другой – они столкнулись с жесткой конкуренцией филиалов крупных столичных компаний, для которых освоение региональных рынков стало важным условием стратегического развития. Затем упрочнение позиций и тем более создание новых региональных рынков тормозится и такими факторами, как повышение требований к уставному капиталу, дефицит квалифицированных кадров, сужение воспроизводственного потенциала региональных экономик, следствием чего стало нарастание диспропорции в размещении страховщиков по регионам. В настоящее время российские региональные страховые рынки находятся в трансформационной фазе своего развития.

*Характерная особенность региональных страховых рынков – высокий удельный вес мелких и средних страховых организаций и связанная с этим проблема низкой обеспеченности местных страховщиков страховыми резервами.* На современном этапе формирования институциональной структуры страхового рынка средняя насыщенность денежными средствами местных страховщиков значительно уступает среднероссийскому показателю.

Несмотря на то, что страховой рынок – весьма динамично развивающаяся система, региональная составляющая не относится к эффективным финансовым институтам. Страховые рынки регионов России характеризуются высокой степенью концентрации, сокращением числа страховых компаний и одновременным ростом числа объектов страховых операций. В регионах появились новые потребности в страховых услугах и соответствующие направления страховой деятельности, обострилась конкуренция и возросла активность иностранных страховых компаний.

Концентрация страхового рынка происходит за счет слияния компаний и путем образования страховых групп, каждая из которых имеет в своем составе центральную и дочерние страховые компании в других регионах. При этом отмечается тяготение страховщиков к центральным регионам России, оставляя, таким образом, региональные рынки без надлежащей защиты. Прежде всего, значительное отставание в регионах связано с отсутствием в них правовых, экономиче-

ских, социальных, региональных, институциональных и других предпосылок к активному росту страховой деятельности.

Пропасть, образовавшаяся в уровне страховой защиты между Москвой и Россией, будет являться очагом серьезных противоречий, причиной усиления социально-экономической нестабильности, а не стимулом развития для других регионов и моделью для тиражирования различных видов страхования в своих регионах. В этой связи политика, направленная на мгновенный рост уставных капиталов страховщиков без соответствующей поддержки государства обострит эти противоречия, усилив региональные диспропорции в страховании. Противоречия могут стать настолько серьезными, что столичные страховщики рискуют потерять власть регионального бизнеса. Низкий уровень развития регионального страхования – это одна из главных причин слабого развития страхования в РФ [8, с. 46].

Региональный рынок страхования – это система экономических отношений в рамках определенных территорий, возникающих между страховыми компаниями и местными субъектами рынка по поводу распределения и использования страхового фонда, а также купли-продажи специфического страхового продукта (страховой услуги), обеспечивающего комплексную защиту этих субъектов от различных рисков [9, с. 325].

*Регионы интересуют страховщиков прежде всего как источник формирования страхового фонда, т. е. как рынок финансовых ресурсов.*

*Региональные страховые рынки различаются как по потребностям населения в страховых услугах, так и по способу удовлетворения этих потребностей. Их развитие в большей степени зависит от экономического состояния региона.* Если для промышленно развитых регионов характерно преобладание имущественных видов страхования ответственности, то для территорий с ослабленным состоянием экономики характерны обязательные виды страхования, для регионов со структурными преобразованиями – страхование финансовых рисков [9, с. 326].

При этом необходимо учитывать, что между регионами есть объективные различия. Развитие производительных сил в РФ происходит крайне неравномерно и зависит от ресурсной базы. Естественно, здесь отличаются такие основные экономические показатели, как уровень внутреннего регионального продукта, численность населения и его среднедушевой доход, среднемесячная заработная плата, объем инвестиций в основной капитал предприятий региона, наличие крупных корпоративных клиентов и т. д.

Российские страховые компании характеризуются высокой степенью концентрации капитала, увеличением числа филиалов и одновременным ростом числа объектов страховых операций. В регионах появились новые потребности в страховых услугах и новые направления страховой деятельности, обострилась конкуренция и возросла активность иностранных страховых компаний. Концентрация рынка происходит за счет слияния компаний и путем образования страховых групп, каждая из которых имеет в своем составе центральную и дочерние страховые компании в других регионах.

Вследствие этого то, что находится на поверхности страхового бизнеса, в его центральных регионах, не отражает действительного положения дел, особенно в региональном разрезе.

Для повышения роли страхования в экономике региона необходима реализация ряда направлений:

– обеспечение стабильного и сбалансированного развития экономики региона;
– оптимизация использования регионального и федерального бюджетов;
– обеспечение экономической и экологической безопасности;
– повышение уровня социальной защищенности населения;
– создание эффективного регионального инструментария реализации региональной политики.

**Особенностью региональной экономики на данном уровне ее развития** является страховой потенциал региона, который способствует удовлетворению общественных потребностей в

страховой защите за счет резервов, аккумулируемых у страховщиков, и характеризуется совокупностью информационных, производственных, финансовых, трудовых и социально-культурных ресурсов, сосредоточенных на территории. При этом выделение и противопоставление рисковой и ресурсной компонент страхового потенциала является в значительной мере логической операцией, в то время как в реальности они сосуществуют, взаимно предполагают и обуславливают друг друга, и проявляются как двуединая сущность страхового потенциала. Как совокупность рисковый и ресурсный потенциалы проявляется в конечном показателе – степени удовлетворения общественных потребностей в страховой защите, а также в ряде частных показателей – объеме выплат, размере страховых услуг на душу населения, инвестиционной и перестраховочной активности страховщика и т. п.

Особое внимание в программах стратегического развития регионов уделяется восстановлению и росту производственного потенциала региона. Безусловно, для производственного и торгового сектора экономики необходимо разрабатывать программы, способствующие развитию данных направлений. В итоге диспропорция развития регионального страхового рынка и неустойчивость финансовых инструментов обусловлены не только недостатками и ограничениями действующего законодательства, но и неспособностью или нежеланием хозяйствующих субъектов региона применять незнакомые финансовые инструменты, исследовать региональные страховые продукты вследствие недостаточной для этого квалификации и компетентности, а также дефицита существующих методик финансового страхового менеджмента.

**Отсутствие концепции государственной политики реструктуризации страхового рынка в регионе является одним из главных внутренних препятствий для развития страхования в регионе.** Это требует разработки целостной концепции, которая обеспечит реальную возможность существенного оздоровления страхового рынка, повышения уровня его капитализации, способствуя увеличению объема собственных средств у страховых компаний. Кроме того, это будет способствовать трансформации сбережений населения в долгосрочные инвестиции с использованием механизмов долгосрочного страхования жизни, адаптации существующих инвестиционных программ к страховому рынку, обеспечению поиска новых финансовых инструментов для развития инвестиционного потенциала страхового рынка, выработке нового финансового менеджмента страховщика.

Особенности и специфика региона обязательно учитываются не только в собственно региональной политике страховщика, но и в стратегии, и планах ее реализации в рамках специализации страховой компании и ее позиционирования на страховом рынке.

При разработке и реализации региональной политики страховщику необходимо учитывать, что экономическая и хозяйственная деятельность региона имеет сложную отраслевую и территориальную структуру. Региональная политика должна быть гибким инструментом принятия решений по формам и методам продвижения на территории. Успешность реализации региональной политики зависит от многих факторов и требует постоянного внимания к изменениям в законодательстве и ситуации на страховом рынке.

**Одним из инструментов создания благоприятных условий для долгосрочного экономического роста является маркетинг региона,** под которым следует понимать совокупность мероприятий, направленных на изучение сложившейся экономической ситуации в регионе, разработка программ повышения социально-экономической привлекательности региона. Используя знание рынка, страховая компания учитывает изменения как в макро-, так и микросреде (её рынок). Анализ макросреды включает исследование внешних факторов (условий), которые страховщик, как правило, не в силах изменить, но должен учитывать, поскольку они влияют на ситуацию.

Сюда относятся: состояние экономики и финансового рынка в стране и в регионе; географическая оценка региона; технологическое окружение; демографическая ситуация; социально-культурная структура населения; влияние государственных структур.

Это свидетельствует о том, что в настоящее время повсеместно осознаётся потребность исследования макромаркетинга, в том числе и в страховании. Система макромаркетинга как макроструктуры еще не сформировалась, однако имеются все предпосылки для ее развития. Так, представляет интерес точка зрения Е. Голубкова о макромаркетинге как элементе экономической системы: «Макромаркетинг основан на анализе и осознании потребностей на уровне общества, определении влияния этих потребностей на принимаемые государственные решения. В таком контексте макромаркетинг рассматривается как элемент экономической системы, результаты функционирования которого должны оцениваться наравне с результатами деятельности других элементов экономики» [10, с. 4]. А. Браверман к области макромаркетинга относит исследования перспектив развития общества, последствий воздействия маркетинга на общество и общества на маркетинг. В российской экономике переходного периода макромаркетинг рассматривается в роли инструмента формирования рыночной среды. На наш взгляд, теория и система макромаркетинга в полной мере соответствует и страхованию региона. Макромаркетинг страхования региона – это особый структурный элемент социально-экономической системы, в развитии и всеобъемлющем характере которого заинтересовано государство. Специфика страхового продукта, его спроса и предложения порождает чрезвычайную сложность функционирования в обществе страховой системы. Это вызывает интерес и одновременно затрудняет понимание и восприятие страхования в целом клиентами, многими страховщиками и государственным менеджментом [11].

Для страховых организаций, использующих для реализации своих услуг страховых и нестраховых посредников в регионах, приоритетным является формирование и эффективность функционирования каналов продаж, а также организация взаимодействия и внедрения системы мотивации.

Для регионального предпринимательства возникновение и развитие страхового интереса обусловлено необходимостью вести рисковую деятельность в процессе освоения современных высокоэффективных технологий, выпуска новой продукции, растущей неопределенности экономической среды. В интересах развития бизнеса на территориях страховые организации в той или иной форме вырабатывают и реализуют собственную региональную политику. Разработка и принятие стратегии региональной деятельности – важный этап в определении перспектив развития страховой организации, имеющей филиальную сеть и стремящейся к дальнейшему развитию бизнеса на территории.

**Заключение.** Страхование рисков, связанных с неисполнением обязательств перед населением и предприятиями, расположенными на данной территории, позволит снизить расходы на территории-реципиенте. Тогда как доходы, получаемые от территорий-доноров, могут быть направлены на реализацию социальных, образовательных и других программ, обеспечивающих рост качества жизни в данном регионе. Ограничение реальных экономических возможностей для страхователей к заключению договоров страхования и недоверие региональных рыночных агентов являются важными причинами ограниченного развития страхового рынка. Невысокий уровень специализации региональных страховых организаций сдерживает рост рынка и ограничивает его финансовую устойчивость. Формирование рыночных институтов в финансовой сфере, конкурентоспособных страховых организаций является стратегической задачей развития.

**Библиографический список**

1. Радаев В. Деформализация правил и уход от налогов в российской хозяйственной деятельности / В. Радаев // Вопросы экономики. – 2001. – № 6.

2. Гельман В. Институциональное строительство и неформальные институты в современной российской политике / В. Гельман // Полис. – 2003. – № 4.

3. Tirole J. A theory of collective reputations with applications to the persistence of corruption and to firm quality / J. Tirole; Inst. d'Econ. Induslr. – Toulouse; Paris: MIT and Ceras, 1999.

4. Melo M. de. From plan to market: Patterns of transition / M. de Melo, C. Denizer, A. Gelb // X World Congr. of the Intern. Econ. Assoc. – Tunis, 2004.

5. Андреева Л. Стратегическое управление рисками в социально-экономических системах: сценарии институционального проектирования / Л. Андреева, М. Скорев. – Новочеркасск: Оникс, 2007.

6. Diermeier D. Institutionalism as a Methodology / D. Diermeier, K. Krehbiel // Journal of Theoretical Politics. – 2003. – Vol. 15. – № 2. – P. 124.

7. Бузгалин А. Трансформация экономической структуры общества в условиях глобализации / А. Бузгалин // Истоки. – 2006. – № 3. – С. 61.

8. Качалова Е. Региональное страхование в системе экономической безопасности Российской Федерации / Е. Качалова // Финансы. – 2003. – № 4. – С. 46.

9. Акопова Е. Глобализация страхового рынка: информационно-сетевая парадигма / Е. Акопова, Л. Андреева. – М.; Ростов н/Д, 2004. – С. 325.

10. Голубков Е. Современные тенденции развития маркетинга / Е. Голубков // Маркетинг в России и за рубежом. – 2000. – № 4. – С. 4.

11. Браверман А. Маркетинг в российской экономике переходного периода. Методология и практика / А. Браверман. – М.: Экономика, 1997.

Материал поступил в редакцию 21.03.11.

**References**

1. Radaev V. Deformalizaciya pravil i uxod ot nalogov v rossijskoj xozyajstvennoj deyatel`nosti / V. Radaev // Voprosy` e`konomiki. – 2001. – # 6. – In Russian.

2. Gel`man V. Institucional`noe stroitel`stvo i neformal`ny`e instituty` v sovremennoj rossijskoj politike / V. Gel`man // Polis. – 2003. – # 4. – In Russian.

3. Tirole J. A theory of collective reputations with applications to the persistence of corruption and to firm quality / J. Tirole; Inst. d’écon. industr. – Toulouse; Paris: MIT and Ceras, 1999.

4. Melo M. de. From plan to market: Patterns of transition / M. de Melo, C. Denizer, A. Gelb // X World Congr. of the Intern. Econ. Assoc. – Tunis, 2004.

5. Andreeva L. Strategicheskoe upravlenie riskami v social`no-e`konomicheskix sistemax: scenarii institucional`nogo proektirovaniya / L. Andreeva, M. Skorev. – Novocherkassk: Oniks, 2007. – In Russian.

6. Diermeier D. Institutionalism as a Methodology / D. Diermeier, K. Krehbiel // Journal of Theoretical Politics. – 2003. – Vol. 15. – # 2. – P. 124.

7. Buzgalin A. Transformaciya e`konomicheskoj struktury` obshhestva v usloviyax globalizacii / A. Buzgalin // Istoki. – 2006. – # 3. – S. 61. – In Russian.

8. Kachalova E. Regional`noe straxovanie v sisteme e`konomicheskoj bezopasnosti Rossijskoj Federacii / E. Kachalova // Finansy`. – 2003. – # 4. – S. 46. – In Russian.

9. Akopova E. Globalizaciya straxovogo ry`nka: informacionno-setevaya paradigma / E. Akopova, L. Andreeva. – M.; Rostov n/D, 2004. – S. 325. – In Russian.
10. Golubkov E. Sovremenny`e tendencii razvitiya marketinga / E. Golubkov // Marketing v Rossii i za rubezhom. – 2000. – # 4. – S. 4. – In Russian.
11. Braverman A. Marketing v rossijskoj e`konomike perexodnogo perioda. Metodologiya i praktika / A. Braverman. – M.: E`konomika, 1997. – In Russian.

## MODERNIZATION PROCESSES OF BUSINESS INSURANCE IN REGION FISCAL SYSTEM

**N.M. OVANESYAN**
(Don State Technical University),
**V.M. BELOUSOV**
(Southern Federal University)

*Necessity of the institutional structure optimization of the regional markets under the principle of the absolute domination of the uniform customs and development norms of the national insurance system is determined by the tendency of home insurers specialty and shift in enterprise proportions of the insurance business.*
***Keywords:*** *region marketing, modernization, regional insurance market, risks, financial crisis, region economy.*

УДК 330.4:339.138:658

# ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПЛАНА КАК СОСТАВЛЯЮЩЕЕ ЗВЕНО ПРОИЗВОДСТВЕННОГО МАРКЕТИНГА

**А.В. НЕМОВА**
(Донской государственный технический университет)

*Рассматривается проблема оперативного реагирования предприятий на изменения во внутренней и внешней среде на основе экономико-математического моделирования, в частности линейного программирования, с целью повышения эффективности производства.*
***Ключевые слова:*** *маркетинг, линейное программирование, симплекс-метод, оптимизация, матрица, алгоритм.*

**Введение.** Экономико-математическое моделирование выступает одним из основных инструментов маркетинговой деятельности и оперирует множеством разнообразных методов, наиболее распространенным среди которых является линейное программирование. Обычно процесс моделирования предполагает прохождение ряда этапов для достижения цели: определение проблемы и ее анализ → разработка модели → математический анализ построенной модели → сбор исходных данных → проведение расчетов → анализ результатов расчетов и их использование на практике.

В последнее время все большее внимание уделяется проведению маркетинговых исследований, с которых начинается деятельность практически любой компании. Исторические предпосылки современной системы маркетинга во многом обусловили повышение интереса к этому виду деятельности в настоящее время. Ориентация на потребителей и конкурентов, гибкая адаптация к постоянно меняющимся условиям во внешней и внутренней среде функционирования любой компании являются необходимыми условиями для обеспечения непрерывности и эффективности её функционирования, а также обеспечения её самоокупаемости и самофинансирования. Маркетинговая деятельность предполагает в первую очередь детальное изучение рынка товаров и услуг, спроса и предложения, поведения потребителей, рыночной конъюнктуры, динамики цен с целью лучшего продвижения своей продукции. Целесообразность внедрения на производственных предприятиях специализированных маркетинговых служб обусловлена необходимостью управления спросом на производимую продукцию для достижения поставленных целей.

Прежде чем формировать производственную программу, руководству предприятия необходимо знать, какую продукцию, в каком объеме, где, когда и по каким ценам оно будет реализовывать. Для этого нужно изучить спрос на продукцию, рынки ее сбыта, их емкость, реальных и потенциальных конкурентов, потенциальных покупателей, возможность организации производства по конкурентной цене, доступность необходимых материальных ресурсов, наличие кадров необходимой квалификации и т. д. Эти и другие задачи возлагаются на службу маркетинга или на иных внутренних сотрудников компании. От того, насколько качественно выполнены поставленные задачи, зависят конечные финансовые результаты, воспроизводство капитала, его структура и, как следствие, финансовая устойчивость предприятия. В этой связи важным этапом этих маркетинговых исследований является формирование такой производственной программы, которая бы отвечала потребностям рынка, но при этом была оптимальной и соответствовала особенностям конкретно взятого предприятия.

**Метод программирования как способ решения маркетинговых проблем.** В условиях рыночных отношений, когда сырьевые ресурсы ограничены, возникает вопрос минимизации прибыли, себестоимости и экономии ресурсов. На сегодняшний день существует необходимость оперативного реагирования предприятий на изменения во внутренней и внешней среде их функционирования, на изменение спроса на товары, работы, услуги и т. д. Перед компаниями возникает целый комплекс задач, основной среди которых является максимизация эффективности деятельности предприятия путем оптимизации использования ресурсов и формирования рационального набора выпускаемой продукции. Её решение включает в себя анализ текущего состояния рынка и разработку на основе его данных стратегических и оперативно-тактических решений.

Линейное программирование представляет собой математический метод выбора самого благоприятного решения из ряда возможных. Его применение обусловлено необходимостью решения таких маркетинговых проблем, как, например, разработка максимально выгодного ассортимента продукции при ограниченном количестве ресурсов, расчёт оптимальной величины товарных запасов и т. д. С данным методом тесно связаны оптимизационные задачи, целью которых является нахождение наилучшего варианта использования материальных, трудовых, финансовых и временных ресурсов. Решаются такие задачи путём построения экономико-математических моделей оптимизации производственных планов предприятия.

Любая модель оптимизации содержит целевую функцию, в которой показательной является эффективность производства, характеризуемая такими показателями, как прибыль, выручка, затраты ресурсов, и систему ограничений, куда входят факторы, в области которых модель не теряет своей практической ценности. Особую роль среди них играет критерий оптимальности, под которым понимается экономический показатель, сведение которого к максимуму или минимуму указывает на достижение целей оптимизации. Запись этого критерия в виде функции от переменных задачи и формирует целевую функцию. При выборе критерия оптимальности учитывается ряд общих требований, к которым стоит отнести: учёт возможных ограничений от принятия того или иного решения, исключение одинаковых по величине издержек, а также учёт рыночного состояния на данный период времени.

Экономико-математическая модель оптимизации, сформированная на основании поставленной задачи планирования производства фирмы, сводится к задаче линейного программирования. По сути, поставленная задача является задачей оптимизации плана, так как её сущность состоит в определении экстремума вещественной целевой функции. Ещё до появления ЭВМ и АСУ были предприняты первые попытки применить математику для решения экономических задач. Поэтому изначально математическая постановка задачи планирования производства применялась в экономической сфере, и линейные задачи нахождения оптимальных планов построения производственных программ исследовались именно в области экономики. Однако самые известные работы, направленные на внедрение экономико-математических методов в сферу управления, появились уже после возникновения первых ЭВМ, без которых теперь невозможно решать большинство задач управления, отличающихся большой размерностью и значительным числом переменных и ограничений. К числу тех, кто посвятил свои исследования задачам линейного программирования и их практическому применению, можно отнести Джона фон Неймана, Л.В. Канторовича, Б. Эгервари и др. [1–7].

Поскольку задачи оптимизации можно классифицировать по ряду признаков, то и соответственно модели, строящиеся на основе исходных данных этих задач, тоже могут быть различными. Задачи оптимального программирования в наиболее общем виде классифицируют по целому ряду признаков, приведенных в табл.1.

Таблица 1

Классификация оптимизационных задач

| Признаки классификации | Виды задач | Характеристика задач |
|---|---|---|
| 1. Характер взаимосвязи между переменными | а) линейные | целевая функция и функциональные связи в системе ограничений являются линейными |
| | б) нелинейные | присутствует нелинейность хотя бы в одном из неравенств системы ограничений или целевой функции |
| 2. Характер изменения переменных | а) непрерывные | значения каждой из переменных могут полностью заполнять некоторую область |
| | б) дискретные | все или хотя бы одна переменная могут принимать некоторые целочисленные значения |
| 3. Учёт фактора времени | а) статические | моделирование и принятие решений осуществляются в предположении о независимости от времени элементов модели в течение периода, на который принимается управленческое решение |
| | б) динамические | нельзя предположить, что элементы модели независимы от времени в течение периода, на который принимается управленческое решение |
| 4. Наличие информации о переменных | а) детерминированные (полная определённость) | отдельные элементы являются вероятностными величинами, но дополнительными статистическими исследованиями могут быть установлены их законы распределения вероятностей |
| | б) задачи в условиях неполной определенности | можно сделать предположение о возможных исходах случайных элементов, но нельзя сделать вывод о вероятностях исходов |
| | в) задачи в условиях неопределенности | то же |
| 5. Число критериев оценки альтернатив | а) простые (однокритериальные) задачи | задачи, где экономически приемлемо использование одного критерия оптимальности |
| | б) сложные (многокритериальные) задачи | выбор управленческого решения происходит по нескольким показателям |

Среди наиболее известных оптимизационных моделей большее распространение получила экономико-математическая модель, построенная на задаче линейного программирования, в которой функция F(X) максимизируется и является при этом линейной, а ограничения задаются системой линейных неравенств, также являющихся линейными. Ниже приведены постановка данной задачи и её решение, однако, чтобы был более понятен смысл данной задачи и необходимость построения соответствующей модели в целом, недостаточно просто привести данные по этой задачи и сформулировать её экономико-математическую модель, нужно ещё провести расчет и экономический анализ в целях проведения маркетинговых исследований.

**Постановка задачи планирования производства.** Для изготовления двух видов продукции $P_1$ и $P_2$ используют четыре вида ресурсов $S_1$, $S_2$, $S_3$, $S_4$. Запасы ресурсов, число единиц ресурсов, затрачиваемых на изготовление единицы продукции, приведены в табл. 2 (цифры условные). Прибыль, получаемая от единицы продукции $P_1$ и $P_2$, соответственно 2 и 3 руб.

Необходимо составить такой план производства продукции, при котором прибыль от её реализации будет максимальной.

Таблица 2

Исходные данные для планирования производства

| Вид ресурса | Запас ресурса (З) | Число единиц ресурсов, затрачиваемых на изготовление единицы продукции | |
|---|---|---|---|
| | | $P_1$ | $P_2$ |
| $S_1$ | 18 | 1 | 3 |
| $S_2$ | 16 | 2 | 1 |
| $S_3$ | 5 | - | 1 |
| $S_4$ | 21 | 3 | - |

РЕШЕНИЕ. Составим экономико-математическую модель задачи. Пусть $x_1$, $x_2$ – число единиц продукции соответственно $P_1$ и $P_2$, запланированных к производству. Для их изготовления потребуется ($1x_1 + 3x_2$) единиц ресурса $S_1$, ($2x_1 + 1x_2$) единиц ресурса $S_2$, $1x_2$ единиц ресурса $S_3$ и $3x_1$ единиц ресурса $S_4$ (см. табл. 2). Так как потребление ресурсов $S_1$, $S_2$, $S_3$, $S_4$ не должно превышать их запасов, соответственно 18, 16, 5 и 21 единицы, то связь между потреблением ресурсов и их запасами можно выразить системой неравенств:

$$\begin{cases} x_1 + 3x_2 \le 18; \\ 2x_1 + x_2 \le 16; \\ x_2 \le 5; \\ x_1 \le 21. \end{cases} \qquad (1)$$

По смыслу задачи переменные

$$x_1 \ge 0,\ x_2 \ge 0. \qquad (2)$$

Суммарная прибыль F составит $2x_1$ руб. от реализации продукции $P_1$ и $3x_2$ руб. – от реализации продукции $P_2$, т. е.

$$F = 2x_1 + 3x_2 \to \max. \qquad (3)$$

Таким образом, экономико-математическая модель задачи состоит в следующем: необходимо найти такой план выпуска продукции $X = (x_1, x_2)$, который бы одновременно удовлетворял системе (1) и условию (2), при котором функция (3) принимает максимальное значение.

Решим данную задачу симплексным методом. Для этого сначала определим максимальное значение целевой функции $F(X) = 2x_1 + 3x_2$ при следующих ограничениях:

$$\begin{cases} x_1 + 3x_2 \le 18; \\ 2x_1 + x_2 \le 16; \\ x_2 \le 5; \\ 3x_1 \le 21. \end{cases} \qquad (4)$$

Для построения первого опорного плана систему неравенств приведём к системе уравнений путем введения следующих дополнительных переменных:

$$\begin{cases} x_1 + 3x_2 + x_3 = 18; \\ 2x_1 + x_2 + x_4 = 16; \\ x_2 + x_5 = 5; \\ 3x_1 + x_6 = 21. \end{cases} \qquad (5)$$

Матрица коэффициентов этой системы уравнений будет соответственно иметь вид

$$A = \begin{vmatrix} 1 & 3 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 2 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}. \qquad (6)$$

Решим систему уравнений относительно базисных переменных: $x_3$, $x_4$, $x_5$, $x_6$, то есть переменных, каждая из которых входит лишь в одно уравнение системы ограничений с единичным коэффициентом.

Полагая, что свободные переменные равны 0, получим первый опорный план: $X_1$ = (0,0,18,16,5,21), табл. 3.

Таблица 3

Первый опорный план симплекс-метода

| План | Базис | З | $x_1$ | $x_2$ | $x_3$ | $x_4$ | $x_5$ | $x_6$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | $x_3$ | 18 | 1 | 3 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| | $x_4$ | 16 | 2 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| | $x_5$ | 5 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| | $x_6$ | 21 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| Индексная строка | F(X0) | 0 | 2 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Перейдём к основному алгоритму симплекс-метода (табл. 4).

Таблица 4

Основной алгоритм симплекс-метода

| План | Базис | З | $x_1$ | $x_2$ | $x_3$ | $x_4$ | $x_5$ | $x_6$ | min |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | $x_3$ | 18 | 1 | 3 | 1 | 0 | 0 | 0 | 6 |
| | $x_4$ | 16 | 2 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 16 |
| | $x_5$ | 5 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 5 |
| | $x_6$ | 21 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | - |
| Индексная строка | F(X1) | 0 | 2 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

В качестве ведущего выберем столбец, соответствующий переменной $x_2$, так как это наибольший коэффициент. Вычислим значения коэффициента по строкам как частное от деления: $\frac{b_i}{a_{i2}}$ и из них выберем наименьшее: min (18 : 3 , 16 : 1 , 5 : 1 , - ) = 5. Следовательно, 3-я строка является ведущей. Разрешающий элемент равен 1 и находится на пересечении ведущего столбца и ведущей строки. Следовательно, $x_2$ необходимо включить в базис, а $x_5$ – исключить.

Строка, соответствующая переменной $x_2$ в плане № 1, получена в результате деления всех элементов строки $x_5$ плана 0 на разрешающий элемент (1). На месте разрешающего элемента в плане № 1 получаем 1. В остальных клетках столбца $x_2$ плана № 1 записываем нули. Таким образом, в новом плане № 1 заполнены строка $x_2$ и столбец $x_2$. Все остальные элементы нового плана № 1, включая элементы индексной строки, определяются по правилу прямоугольника.

Для этого выберем из старого плана четыре числа, которые расположены в вершинах прямоугольника и всегда включают разрешающий элемент. $НЭ = СЭ - \frac{(A \cdot B)}{РЭ}$, где *СЭ* – элемент старого плана, *РЭ* – разрешающий элемент (1), *A* и *B* – элементы старого плана, образующие прямоугольник с элементами СЭ и РЭ (табл. 5).

Таблица 5

Второй опорный план симплекс-метода

| План | Базис | З | $x_1$ | $x_2$ | $x_3$ | $x_4$ | $x_5$ | $x_6$ | min |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2 | $x_3$ | 3 | 1 | 0 | 1 | 0 | -3 | 0 | 3 |
| | $x_4$ | 11 | 2 | 0 | 0 | 1 | -1 | 0 | $5^1/_2$ |
| | $x_2$ | 5 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | - |
| | $x_6$ | 21 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 7 |
| Индексная строка | F(X2) | 15 | 2 | 0 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 |

Текущий опорный план неоптимален, поэтому в качестве ведущего выберем столбец, соответствующий переменной $x_1$, так как это наибольший коэффициент.

Вычислим значения $\theta_i$ по строкам как частное от деления $\frac{b_i}{a_{i1}}$ и из них выберем наименьшее: min (3 : 1 , 11 : 2 , - , 21 : 3 ) = 3. Следовательно, 1-я строка является ведущей. Разрешающий элемент равен 1 и находится на пересечении ведущего столбца и ведущей строки. Следовательно, $x_1$ необходимо включить в базис, а $x_3$ – исключить. Строка, соответствующая переменной $x_1$ в плане № 2, получена в результате деления всех элементов строки $x_3$ плана 1 на разрешающий элемент (1). На месте разрешающего элемента в плане № 2 получаем 1. В остальных клетках столбца $x_1$ плана № 2 записываем нули. Таким образом, в новом плане № 2 заполнены строка $x_1$

и столбец $x_1$. Все остальные элементы нового плана № 2, включая элементы индексной строки, определяются по правилу прямоугольника.

Текущий опорный план неоптимален, следовательно, в качестве ведущего выберем столбец, соответствующий переменной $x_5$, так как это наибольший коэффициент. Вычислим значения $\theta_i$ по строкам как частное от деления $\frac{b_i}{a_{i5}}$ и из них выберем наименьшее: min (- , 5 : 5 , 5 : 1 , 12 : 9 ) = 1. Следовательно, 2-я строка является ведущей. Разрешающий элемент равен 5 и находится на пересечении ведущего столбца и ведущей строки. Следовательно, $x_5$ необходимо включить в базис, а $x_4$ – исключить (табл. 6).

Таблица 6

Текущий опорный план симплекс-метода

| План | Базис | З | $x_1$ | $x_2$ | $x_3$ | $x_4$ | $x_5$ | $x_6$ | min |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 3 | $x_1$ | 3 | 1 | 0 | 1 | 0 | -3 | 0 | - |
| | $x_4$ | 5 | 0 | 0 | -2 | 1 | 5 | 0 | 1 |
| | $x_2$ | 5 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 5 |
| | $x_6$ | 12 | 0 | 0 | -3 | 0 | 9 | 1 | $1^1/_3$ |
| Индексная строка | F(X3) | 21 | 0 | 0 | 2 | 0 | -3 | 0 | 0 |

Строка, соответствующая переменной $x_5$ в плане № 3, получена в результате деления всех элементов строки $x_4$ плана 2 на разрешающий элемент 5. На месте разрешающего элемента в плане № 3 получаем 1. В остальных клетках столбца $x_5$ плана № 3 записываем нули. Таким образом, в новом плане 3 заполнены строка $x_5$ и столбец $x_5$.

Все остальные элементы нового плана № 3, включая элементы индексной строки, определяются по правилу прямоугольника. Конец итераций: найден оптимальный план (табл. 7).

Таблица 7

Окончательный вариант симплекс-таблицы

| План | Базис | З | $x_1$ | $x_2$ | $x_3$ | $x_4$ | $x_5$ | $x_6$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 4 | $x_1$ | 6 | 1 | 0 | $^{-1}/_5$ | $^3/_5$ | 0 | 0 |
| | $x_5$ | 1 | 0 | 0 | $^{-2}/_5$ | $^1/_5$ | 1 | 0 |
| | $x_2$ | 4 | 0 | 1 | $^2/_5$ | $^{-1}/_5$ | 0 | 0 |
| | $x_6$ | 3 | 0 | 0 | $^3/_5$ | $-1^4/_5$ | 0 | 1 |
| Индексная строка | F(X4) | 24 | 0 | 0 | $^4/_5$ | $^3/_5$ | 0 | 0 |

Оптимальный план можно записать так: $x_1 = 6$, $x_5 = 1$, $x_2 = 4$, $x_6 = 3$; $F(X) = 2·6 + 3·4 = 24$.

То есть для получения максимального значения прибыли F(X) = 24 производственному предприятию необходимо произвести 6 единиц продукции $P_1$ и 4 единицы продукции $P_2$ с учетом всех сложившихся на данный момент условий, в которых организация осуществляет свою деятельность.

Любые попытки создать оптимальный план (даже если эти попытки оказываются неудачными) всегда дают положительный эффект: система, для которой разрабатывается производственная программа, изучается более глубоко, и появляется возможность понимания сущности происходящих в компании хозяйственных процессов. В процессе формирования производственного плана выявляются слабые места, имеющиеся в системе управления организацией, а также причины их возникновения и способы их устранения.

Очень удачно отражена рекуррентная взаимосвязь в модели, рассмотренной А. П. Тяпухиным, которая выглядит следующим образом:

$$Y_{снаб1}=f(X_{сн});$$
$$У_{пр\text{-}во2}=f(Y_{снаб.},X_{пр\text{-}во});$$
$$У_{снаб3}=f(У_{пр\text{-}во},X_{маркет}).$$

В данной модели подчеркивается связь между снабжением, производством, маркетингом и сбытом, поэтому ее применение на практике так же очень актуально, как и использование метода линейного программирования, рассмотренного выше.

Самые первые серьезные по своим масштабам работы, связанные с математической формулировкой задач управления, приходятся на период бурного научно-технического развития и автоматизации производства. Интеграция математических и экономических методов сопровождалась большими затратами финансовых ресурсов. На применение этих методов возлагались большие надежды, большинство которых так и не оправдались. Сегодня в рамках осуществляемой маркетинговой деятельности экономико-математическое моделирование получило широкое распространение на многих предприятиях. Как правило, построение моделей осуществляется с применением новейших компьютерных технологий и использованием современных программных продуктов. Одним из наиболее распространенных способов решения оптимизационных задач является использование надстройки MS Excel «Поиск решений», позволяющей решать широкий круг задач на оптимизацию и обеспечивающей быстрый поиск оптимальных решений достаточно сложных моделей. В основе средства поиска решения MS Excel лежит алгоритм нелинейной оптимизации Generalized Reduced Gradient (GRG2), разработанный Л. Ласдоном и А. Уорреном. Процедура поиска решения позволяет найти оптимальное значение формулы, содержащейся в целевой ячейке. Её можно использовать для определения значения влияющей ячейки, которое соответствует экстремуму зависимой ячейки: например, можно изменить объём планируемого бюджета рекламы и посмотреть, как это повлияет на размер планируемых расходов. Помимо MS Excel в последнее время получили широкое распространение программные продукты группы Arena, в частности для оптимизации производственных программ применяется Arena OptQuest; Optytrace; SMath Studio; платформа ERP, реализующая стандартные циклы планирования. На последней стоит остановиться более подробно. Дело в том, что платформа ERP позволяет решить широкий круг задач, связанных с планированием (за исключением оперативного планирования). Сегодня возможна оптимизация оперативного планирования с помощью программных продуктов, разработанных на основе ERP-платформы. Например, решение на базе модуля Advanced Supply Chain Planning (ASCP) из линейки Oracle E-Business Suite. Данный модуль позволяет решить комплекс задач на всех этапах планирования (в том числе оперативного планирования). Однако модуль ASCP имеет некоторые ограничения: невозможен учет специфики отдельных отраслей, существует ограничение количества критериев качества планирования и отсутствует возможность проследить алгоритм получения решения. Для решения данной проблемы считаю целесообразным применение «корректора оперативного плана», особенностью которого является наличие как универсальной части, так и изменяемой, которую можно дорабатывать с учетом особенностей каждого конкретного предприятия.

**Вывод.** Создание экономико-математической модели с помощью методов математического программирования позволяет воссоздать образ реального экономического процесса в виде модели, включающей известные существенные показатели и искомые величины, которые вместе характеризуют рассматриваемый объект. Такая модель позволяет менеджерам, аналитикам, маркетологам приготовить и обосновать управленческие решения, имея дело не с реальным объектом, а с его моделью. Это в значительной мере расширяет возможности для выбора наиболее рационального способа управления, при этом не нарушая функционирование реального объекта в процессе поиска оптимальных решений. Таким образом, появляется возможность использования компьютеров, поскольку язык математических моделей является для них наиболее удобным.

**Библиографический список**

1. Вентцель Е.С. Исследование операций / Е.С. Вентцель. – М.: Высшая школа, 2001.
2. Калихман И.Л. Динамическое программирование в примерах и задачах / И.Л. Калихман, М.А. Войтенко. – М.: Высшая школа, 1979.
3. Красс М.С. Математика для экономических специальностей / М.С. Красс. – М.: ИНФРА-М, 1999.
4. Лотов А.В. Введение в экономико-математическое моделирование / А.В. Лотов. – М.: Наука, 1984.
5. Мэнкью Н.Г. Макроэкономика / Н.Г. Мэнкью. – М.: Изд-во МГУ, 1994.
6. Новиков О.А. Прикладные вопросы массового обслуживания / О.А. Новиков, С.И. Петухов. – М.: Советское радио, 1969.
7. Самуэльсон П.Э. Экономика / П.Э. Самуэльсон, В.Д. Нордхаус. – М.: Вильямс, 2000.

Материал поступил в редакцию 3.06.11.

**References**

1. Ventcel` E.S. Issledovanie operacij / E.S. Ventcel`. – M.: Vy`sshaya shkola, 2001. – In Russian.
2. Kalixman I.L. Dinamicheskoe programmirovanie v primerax i zadachax / I.L. Kalixman, M.A. Vojtenko. – M.: Vy`sshaya shkola, 1979. – In Russian.
3. Krass M.S. Matematika dlya e`konomicheskix special`nostej / M.S. Krass. – M.: INFRA-M, 1999. – In Russian.
4. Lotov A.V. Vvedenie v e`konomiko-matematicheskoe modelirovanie / A.V. Lotov. – M.: Nauka, 1984. – In Russian.
5. Me`nk`yu N.G. Makroe`konomika / N.G. Me`nk`yu. – M.: Izd-vo MGU, 1994. – In Russian.
6. Novikov O.A. Prikladny`e voprosy` massovogo obsluzhivaniya / O.A. Novikov, S.I. Petuxov. – M.: Sovetskoe radio, 1969. – In Russian.
7. Samue`l`son P.E`. E`konomika / P.E`. Samue`l`son, V.D. Nordxaus. – M.: Vil`yams, 2000. – In Russian.

## MATHEMATICAL ECONOMIC MODEL OF PRODUCTION BUDGET OPTIMIZATION AS MARKETING CONSTITUENT

**A.V. NEMOVA**
(Don State Technical University)

*The problem of dynamic response of the enterprises on changes in the internal and external environment on the basis of economic mathematical modeling, linear programming particularly, for the purpose of the production effectivization is considered.*
***Keywords:*** *marketing, linear programming, simplex method, optimization, matrix, algorithm.*

УДК 658.012.7

# МЕТОДЫ ЭФФЕКТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫМИ УСЛУГАМИ

**В. Ю. ИВАНОВ**
(Донской государственный технический университет)

*Кризисные явления на рынке строительных услуг могут быть преодолены путем реализации ряда мер как со стороны государства, так и на уровне отдельного предприятия. Предлагается для топ-менеджмента строительных компаний создание Лидерского блока – новой рабочей группы, имеющей оригинальный статус – право принимать решения.*
***Ключевые слова:*** *строительные услуги, кризис, эффективное управление, Блок лидеров.*

**Введение.** Строительство является одной из наиболее важных отраслей экономики. Её состояние во многом определяет уровень развития общества и его производственных сил. Строительная отрасль призвана осуществлять обновление на современной технической основе производственных фондов, развитие, совершенствование социальной сферы, реконструкцию, модернизацию, техническое перевооружение производства материальных благ [1]. В настоящее время строительная отрасль Российской Федерации сталкивается со следующими проблемами [2]:

- сокращение потребительского спроса на рынке жилья;
- сокращение основных источников финансирования строительства;
- проблемы с кадрами для строительства – постоянно испытывается нехватка специалистов и квалифицированных рабочих;
- стандартизация;
- лицензирование;
- низкая производительность;
- низкая заработная плата.

**Мероприятия по эффективному управлению на рынке строительными услугами.** Для выхода из кризисной ситуации на рынке строительных услуг Российской Федерации необходимо решать проблемы как на уровне государства так и на уровне предприятия.

На уровне государства необходимо обратить внимание на следующие проблемы, рассмотренные ниже.

Во-первых, не допустить снижения темпов строительства и развала строительной отрасли – локомотива вывода страны из кризиса. Обеспечить государственную поддержку конечному потребителю продукции строительной отрасли.

Во-вторых, государству взять на себя функции единого заказчика в жилищном и социальном строительстве и обеспечить действенный контроль за действиями монополий, установить «правила игры» на строительном рынке – с обеспечением защиты инвесторов и прав граждан.

В-третьих, с целью снижения цен на жилье и строительные материалы законодательно ограничить норму прибыли строительных организаций и предприятий стройиндустрии.

В-четвертых, не допустить пересмотра концепции реформы технического регулирования. Активизировать деятельность производителей бетона в области формирования современной нормативно-технической базы развития отрасли, в том числе через участие в деятельности технических комитетов по стандартизации. Правительству обеспечить поддержку отраслевой науки и последовательно реализовать обновление нормативно-технической базы отрасли, включая реформу технического регулирования.

В-пятых, поднять вопрос о создании в системе Ростехрегулирования самостоятельного технического комитета.

В-шестых, восстановить полномасштабное управление строительством в стране с созданием в структуре федеральных органов исполнительной власти Министерства строительства РФ.

В-седьмых, усилить консолидирующую роль некоммерческих организаций стройиндустрии (включая Союз производителей бетона) в решении отраслевых проблем.

Предприятиям отрасли активно совершенствовать и модернизировать производство, расширять деловые контакты и связи с зарубежными (прежде всего, европейскими) производителями бетона и их объединениями в интересах обеспечения конкурентоспособности отрасли в условиях вступления России в ВТО.

Усилить роль науки и подготовки кадров, поскольку это является необходимым условием динамичного развития отрасли производства бетона. Необходима последовательная интеграция науки и высшей школы с предприятиями и организациями, выпускающими и использующими бетон и железобетонные конструкции. Важнейшей проблемой отрасли является проблема подготовки и переподготовки кадров – инвестиций в человеческие ресурсы.

Эффективное управление на уровне предприятий является во многом определяющим для выхода отрасли из кризиса, что обеспечивается реализацией целей, представленных на рис. 1.

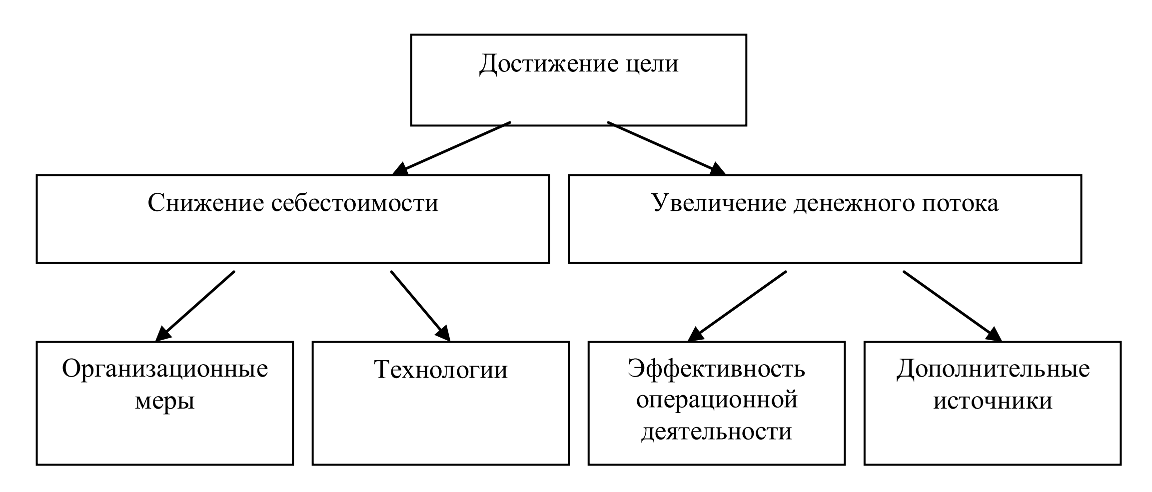



Рис. 1. Направления повышения эффективности строительных компаний

К внутренним резервам выхода из кризиса относится работоспособность управленческой команды и ее способность преодолевать неопределенность и трудности. Для топ-менеджмента строительных компаний предлагается создавать так называемый Лидерский блок. Блок создается не в виде формального подразделения, а в рамках нового рабочего механизма. Блок – новая рабочая группа, имеющая право принимать решения [3].

В Лидерский блок входят: сотрудники, способные переломить ход событий, разорвать замкнутый круг, принцип – у каждого есть свой блок задач и ответственность, важно также сделать четкую привязку мотивации лидеров – к решению задач в рамках своих блоков. Эти задачи могут быть гораздо серьезнее уровня типовой ответственности нового лидера, шире, но тем не менее, должны быть в зоне его ближайшего развития.

По каждой из категорий задач назначаем лидеров для закрепления индивидуальной ответственности (табл. 1).

Таблица 1

Распределение ответственности в Лидерском блоке

| Примеры задач | Ответственный лидер | Периодичность отчетности о состоянии дел по задаче |
|---|---|---|
| Проект сокращения постоянных расходов до 10% от выручки (варьируется) | Исполнительный директор | Ежемесячно |
| Выбор новой технологии с себестоимостью в пределах 20 тыс. руб. | Коммерческий директор | Еженедельно |
| Приведение существовавшей до сих пор технологии до нормы себестоимости 26 тыс. руб. (фундаменты, кровля и т. п.) | Начальник бюро проектирования | То же |
| Структура и состав отдела продаж в состоянии полной готовности к продажам в кризисной ситуации: текучесть кадров <= 2% | Коммерческий директор | – " – |
| Сокращение дебиторской задолженности на 30%, разработка схем привлечения средств по дебиторской задолженности | Ведущий менеджер по продажам | – " – |
| Обеспечение непрерывного поиска дополнительных клиентов за счет работы с корпоративным сектором – 20 клиентов | Начальник службы продаж | – " – |
| Увеличение продаж на 5% за счет движения в районы строящихся объектов | Начальник службы маркетинга | – " – |
| Проработка схемы создания залогов для финансирования / схемы нестандартного финансирования | Финансовый аналитик | – " – |
| Введение проекта X в плановый выкуп жилья государством | Исполнительный директор | – " – |
| Введение нового проекта Y в программы Фонда содействия развитию жилищного строительства | Коммерческий директор | – " – |

Для топ-менеджера строительной компании предлагается в рамках основных функций управления:

- планирование Лидерского блока;
- организация процесса его создания;
- мотивация Лидеров;
- контроль доведения до конца поставленных задач.

Рассмотрим далее более подробно содержание каждой из функций.

*Первая функция.* Планирование Лидерского блока. Ниже представлен пример цели и плана задач для участников блока, табл. 2. По сути, создаются новые антикризисные процессы и проекты. Теперь результаты работы замеряются с учетом выполнения новых требований.

Таблица 2

Организационная структура Лидерского блока

| Этап | Содержание |
|---|---|
| 1 | Внутренняя диагностика |
| 2 | Определение общей цели |
| 3 | Определение задач, приводящих к общей цели |
| 4 | Выявление лидеров |
| 5 | Постановка общей цели и задач на совещании |
| 6 | Закрепление лидеров по задачам |
| 7 | Определение индивидуальной мотивации каждого |
| 8 | Определение периодичности встреч и обсуждений результатов работы |

*Вторая функция.* Организация процесса создания нового блока.

При организации Лидерского блока необходимо помнить, что в миниатюре – это новый бизнес-процесс, и его наладка требует пристального внимания владельцев компании. Топ-менеджмент должен разделять взгляды руководства и двигаться в одном направлении с ним.

*Третья функция.* Мотивация лидеров должна зависеть не от оклада (о котором пока можно забыть), а от результатов выполнения задач внутри Лидерского блока.

Материально это можно прописать следующей формулой в случае возможности периодического вознаграждения:

$$ФОТ_{лидер}=ОКЛАД_{мин} + \%\ результат, \quad (1)$$

где ФОТ – фонд оплаты труда.

В случае единовременного вознаграждения:

$$ФОТ_{лидер} = ОКЛАДмин + \sum Итоговый\ результат. \quad (2)$$

Дополнительные мотивационные плюсы от внедрения Блока лидеров:

– сотрудники продолжают работать в кризис с загрузкой;

– сотрудники профессионально растут – круг решаемых задач выводит на новый уровень принятия решений;

– за счет совместной работы в непростое время коллектив становится более сплоченным (вместо бездельного общения в курилке – реальная работа, где сотрудники волей-неволей находят общий язык).

*Четвертая функция:* контроль за доведением до конца поставленных задач.

Для осуществления грамотного и полного контроля мероприятий, проводимых в рамках нового блока на предприятии, следует еще на этапе планирования задач создать удобный рабочий механизм – совещание или отчет – позволяющий отслеживать изменения и устранять проблемы. Это настраивается индивидуально на каждом предприятии. Основная задача – не пустить новый бизнес-процесс на самотек и замерять эффективность: сотрудников, результатов от поставленных задач.

Основным результатом внедрения Лидерского блока становится преодоление жестоких последствий экономического кризиса для строительной компании, достижение поставленных целей, а укрупненно – выживание компании в сложных условиях. После выхода из кризиса экономики в целом и рынка недвижимости в частности работники, участвовавшие в Лидерском блоке и способствующие своими усилиями достижению поставленных перед Блоком целей, создадут собой мощнейший кадровый резерв из поистине приверженных и испытанных людей. Они будут способны вести компанию на руководящих должностях.

**Комплексный подход преодоления кризиса.** Лидерам компании для решения предлагается ряд основных задач в каждом направлении деятельности с целью достижения устойчивости во время экономической нестабильности на строительном рынке. Общее управление – пересмотр всего количества докризисных рабочих механизмов в сторону наиболее эффективных. Другими словами, временное избавление от неактуальных отчетов и совещаний, создание новых механизмов для Лидерского блока.

Эффективными могут стать следующие наиболее типовые меры для преодоления кризисной ситуации в строительной компании [4]:

– проектировщикам: блокирование новых затратных проектов (без особого распоряжения учредителей компании); смещение направления проектирования в сторону жилья эконом-класса, по возможности – малоэтажного; пересмотр текущих проектов на предмет удешевления будущего строительства;

– отделу логистики: сокращение запаса строительных материалов на складе, минимально соответствующего необходимым темпам, перевод поставщиков на взаимозачетные схемы; ориентация на стабильных партнеров, способных выживать при минимальном финансировании;

– не останавливать производство материалов в том случае, если:

а) стройматериалы полностью расходуются собственным строительством даже в кризис;

б) материалы активно востребованы в схемах по взаимозачетам;

в) материалы идут на внешнюю реализацию с зафиксированным будущим спросом;

– замедление темпов строительства, но поддержание основных объектов; использование кризисного времени для повышения качества процессов и отбора квалифицированных строителей;

– тотальное усиление внимания как к новым клиентам, так и к существующим. Создание или усиление процедур ведения клиентов, повышение уровня общения с клиентами. На период кризиса не принимать продажи как основной источник финансирования ввиду деструкции рынка и сложности качественного планирования;

– уровень принятия решений в области финансов поднимается до уровня учредителей компании; тотальный контроль затрат; кризисный бюджет, бюджетный комитет. Создание правил и четких указаний по поведению с кредиторами. В условиях урезания банковского финансирования строительной отрасли осуществлять поиск альтернативных источников финансирования. В качестве альтернативы банкам предлагается использовать зарубежных инвесторов, государственные программы финансирования;

– тотальный контроль подачи исков кредиторами. Не доводить до суда, если возможно. Контроль судопроизводства по делам, касающимся компании.

**Вывод.** Для повышения эффективности управления на рынке строительных услуг целесообразны следующие направления деятельности: планирование Лидерского блока, организация процесса его создания, мотивация лидеров и контроль за доведением до конца поставленных задач.

**Библиографический список**

1. Белоликов В.Т. Организация и экономика строительного производства: учеб. пособие / В.Т. Белоликов, А.М. Бондарь, И.С. Птухина; под общ. ред. В.Т. Белоликова. – СПб.: СПбГПУ, 2007. – 86 с.

2. Цылина Г.А. Жилищное финансирование и ипотечное кредитование / Г.А. Цылина // Жилищное строительство. – 2008. – № 2. – С. 3–45.

3. Яковец Ю.В. Революция в экономике: Ключевые проблемы, противоречия, перспективы перестройки / Ю.В. Яковец. – М.: Экономика, 2004. – 191 с.

4. Михайлов С.А. Финансово-экономические аспекты строительства / С.А. Михайлов // Жилищное строительство. – 2009. – № 8. – С. 2–45.

Материал поступил в редакцию 22.07.11.

**References**

1. Belolikov V.T. Organizaciya i e`konomika stroitel`nogo proizvodstva: ucheb. posobie / V.T. Belolikov, A.M. Bondar`, I.S. Ptuxina; pod obshh. red. V.T. Belolikova. – SPb.: SPbGPU, 2007. – 86 s. – In Russian.

2. Cy`lina G.A. Zhilishhnoe finansirovanie i ipotechnoe kreditovanie / G.A. Cy`lina // Zhilishhnoe stroitel`stvo. – 2008. – # 2. – S. 3–45. – In Russian.

3. Yakovecz Yu.V. Revolyuciya v e`konomike: Klyuchevy`e problemy`, protivorechiya, perspektivy` perestrojki / Yu.V. Yakovecz. – M.: E`konomika, 2004. – 191 s. – In Russian.

4. Mixajlov S.A. Finansovo-e`konomicheskie aspekty` stroitel`stva / S.A. Mixajlov // Zhilishhnoe stroitel`stvo. – 2009. – # 8. – S. 2–45. – In Russian.

## EFFECTIVE MANAGEMENT METHODS OF CONSTRUCTION SERVICES

**V.Y. IVANOV**

(Don State Technical University)

*Crisis phenomena in the construction services market can be overcome by a number of measures both at the national level and at certain enterprises. Top management of the construction companies is offered to form a leadership block – a new working group with special status – power of decision.*

***Keywords:*** *construction services, crisis, efficient management, leadership block.*

# КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 519.6: 501

## ПРИЛОЖЕНИЕ МОДЕЛЕЙ СВЕРХЗВУКОВЫХ РАДИАЦИОННЫХ ВОЛН ДЛЯ ОПИСАНИЯ ПЛАМЕНИ В ПОРШНЕВЫХ ДВИГАТЕЛЯХ*

**Е.Н. ЛАДОША, Д.С. ЦЫМБАЛОВ, О.В. ЯЦЕНКО**
(Донской государственный технический университет)

*Исследована связь различных авто- и солитонных моделей. Выявлена общность постановки задач горения, распространения сверхзвуковой радиационной волны и движения уединенной волны на мелкой воде. Обосновано использование известных математических результатов для описания волновых пламенных структур в заряде поршневых двигателей.*
***Ключевые слова:*** *солитоны, пламя, горение, радиационные волны, моделирование, аналогия.*

Обычно пламенные структуры описываются уравнениями типа *Колмогорова – Петровского – Пискунова* [1]:

$$D\frac{\partial^2 c}{\partial z^2}+v\frac{\partial c}{\partial z}+Wc^2(1-c)=0,\quad c(-\infty)=0,\quad c(\infty)=1\ . \tag{1}$$

Автомодельная переменная $z$ в (1) имеет вид волны $z=(x-v\,t)/\Delta$ шириной $\Delta$, бегущей со скоростью $v$. Величина последней суть собственное значение краевой задачи. Искомая функция $c(z)$ ассоциируется с формой перемещающих в пространстве концентраций, температурой, иными параметрами, $D$ – с коэффициентом диффузии, $W$ – с темпом превращения, сгорания, заражения или другой локальной трансформации среды. Формализм (1) применим для описания различных авто- и волновых процессов: фотодиссоциации газа под действием интенсивного УФ излучения [2], единичной волны на мелкой воде [3], адсорбции газа пористой средой [4]. Это позволяет использовать известные решения формально подобных задач для содержательно оригинальных постановок.

Покажем сводимость задачи [2] к уравнению (1). Модельная система уравнений переноса излучения и химической кинетики для фотодиссоциации газа имеет вид:

$$\frac{\partial I}{\partial x}=-\sigma cI;\ \frac{\partial c}{\partial t}=-\sigma cI;\ I(-\infty,t)=I^0;\ I(\infty,t)=0;\ c(-\infty,t)=0;\ c(\infty,t)=c^0\ , \tag{2}$$

где $x$, $t$, $I=I(x,t)$, $c=c(x,t)$ – координата, время, интенсивность излучения и концентрация поглощающих частиц; $\sigma$ – сечение поглощения.

Ее решением служит

$$I(x,t)=\frac{I^0}{1+g};\quad c(x,t)=\frac{c^0 g}{1+g};\quad g=\exp\left[\sigma c^0\left(x-\frac{I^0}{c^0}t\right)\right]\ . \tag{3}$$

Решение (3) является автомодельным, что обусловлено законом сохранения частиц в элементарном фотохимическом акте. Автомодельной переменной служит $z=\sigma c^0\,[x-(I^0/c^0)\,t]$, что соответствует движению профилей $I(z)$ и $c(z)$ в невозмущенный газ со скоростью $u_F=I^0/c^0$. Протяженность области фотореакции составляет $l=1/\sigma c^0$. В переменных $\tilde I=I/I^0$, $\tilde c=c/c^0$ с учетом консервативности $\tilde I+\tilde c=1$ уравнения (2) принимают вид:

$$\frac{\partial\tilde I}{\partial x}=-\sigma c^0\tilde I(1-\tilde I);\qquad \frac{\partial\tilde c}{\partial t}=-\sigma I^0\tilde c(1-\tilde c)\ . \tag{4}$$

* Работа выполнена при поддержке фонда ALCOA.

Дифференцируя уравнение (4) по автомодельной переменной, заменяя $\partial\tilde{I}/\partial z$ в правой части результата на $-\sigma c^0\tilde{I}(1-\tilde{I})$ и умножая обе части результирующего уравнения на $(I^0/c^0)(1/\sigma c^0)$, получаем:

$$\frac{I^0}{c^0}\frac{1}{\sigma c^0}\frac{\partial^2\tilde{I}}{\partial z^2}+\frac{I^0}{c^0}\frac{\partial\tilde{I}}{\partial z}+2\sigma I^0\tilde{I}^2\times(1-\tilde{I})=0,\quad \tilde{I}(-\infty,t)=1,\quad \tilde{I}(\infty,t)=0\ . \qquad (5)$$

Идентичность уравнений (5) и (1) очевидна: роль коэффициента диффузии $D$ играет комплекс $(I^0/c^0)(1/\sigma c^0)$, темпа локальной перестройки среды $W$ – величина $2\sigma I^0$. Собственное значение краевой задачи (2) $v = I^0/c^0$ совпадает с известной скоростью волны горения [1] $v = (WD/2)^{1/2}$.

Аналогичные рассуждения позволяют установить связь уравнений (1) и (2) с солитонной моделью *Кортевега – де Вриза* (КдВ), описывающей эволюцию единичной волны на мелкой воде [4]. Введя новую функцию $g(z)=dc(z)/dz$, дифференцированием (1) и подстановкой в результат известного решения [1] $c(z)=[1+\text{th}(z/\Delta)]/2$ получаем уравнение КдВ:

$$g'_t + A\,g\,g'_x + B\,g'''_{xxx}=0,\qquad g(-\infty,t)=0,\qquad g(\infty,t)=0\ . \qquad (6)$$

Здесь, если отвлечься от связи между скоростью, амплитудой и шириной импульса в солитоне КдВ, оказывается $A = 3\,(WD/2)^{1/2}$, $B = (2D^3/W)^{1/2}$ и соответственно $v = A/3$, $\Delta = (12B/A)^{1/2}$.

Практическая ценность проведенного в данной работе анализа состоит в выявлении реальной возможности распространить теоретические результаты работ [2, 5, 6] на описание автоволновых структур при горении в поршневых двигателях. В частности, предлагаются модели [2 5, 6] адаптирования для пламени с параллельно и последовательно протекающими реакциями в условиях обратимости тепловыделения при наличии источников вещества и энергии.

**Библиографический список**


1. Колмогоров А.Н. Исследование уравнения диффузии, соединенного с возрастанием количества вещества и его применение к одной биологической проблеме / А.Н. Колмогоров, И.Г. Петровский, Н.С. Пискунов // Бюллетень МГУ. Сер. А., 1937. Т. 1 Вып. 6. – С. 1–26.

2. Давлетшин Р.Ф. Кинетика фотопревращений в молекулярном газе, облучаемом мощным источником УФ-излучения / Р.Ф. Давлетшин, Н.Н. Кудрявцев, О.В. Яценко // Кинетика и катализ. 1993. Т. 34. № 5. – С. 780–782.

3. Ньюэлл А. Солитоны в математике и физике / А. Ньюэлл. – М.: Мир, 1989.

4. Тихонов А.Н. Поглощение газа из воздуха слоем зернистого материала / А.Н. Тихонов, А.А. Жуховицкий, Я.Л. Забежинский // ЖФХ. 1946. Т. 20. Вып. 10. – С. 1113–1121.

5. Давлетшин Р.Ф. Теоретическое исследование радиационных волн в газе. Часть 2 / Р.Ф. Давлетшин, О.В. Яценко // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Ест. науки. 1997. № 1. С. 53–57.

6. Яценко О.В. Теоретическое исследование радиационных волн в газе. Часть 3 / О.В. Яценко // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Естеств. науки. 2001. № 1. – С. 50–52.


Материал поступил в редакцию 31.05.11.

**References**

1. Kolmogorov A.N. Issledovanie uravneniya diffuzii, soedinyonnogo s vozrastaniem kolichestva veshhestva, i ego primenenie k odnoj biologicheskoj probleme / A.N. Kolmogorov, I.G. Petrovskij, N.S. Piskunov // Byulleten` MGU. Ser. A., 1937. T. 1. Vy`p. 6. – S. 1–26. – In Russian.
2. Davletshin R.F. Kinetika fotoprevrashhenij v molekulyarnom gaze, obluchaemom moshhny`m istochnikom UF-izlucheniya / R.F. Davletshin, N.N. Kudryavcev, O.V. Yacenko // Kinetika i kataliz. 1993. T. 34. # 5. – S. 780–782. – In Russian.
3. N`yue`ll A. Solitony` v matematike i fizike / A. N`yue`ll. – M.: Mir, 1989. – In Russian.
4. Tixonov A.N. Pogloshhenie gaza iz vozduxa sloem zernistogo materiala / A.N. Tixonov, A.A. Zhuxoviczkij, Ya.L. Zabezhinskij // ZHFX. 1946. T. 20. Vy`p. 10. – S. 1113–1121. – In Russian.
5. Davletshin R.F. Teoreticheskoe issledovanie radiacionny`x voln v gaze. Chast` 2 / R.F. Davletshin, O.V. Yacenko // Izv. vuzov. Sev.-Kavk. region. Est. nauki. 1997. # 1. S. 53–57. – In Russian.
6. Yacenko O.V. Teoreticheskoe issledovanie radiacionny`x voln v gaze. Chast` 3 / O.V. Yacenko // Izv. vuzov. Sev.-Kavk. region. Estestv. nauki. 2001. # 1. – S. 50–52. – In Russian.

## APPLICATION OF SUPERSONIC RADIATION WAVE MODELS TO FLAMES SPECIFICATION IN RECIPROCATOR

**E.N. LADOSHA, D.S. TSYMBALOV, O.V. YATSENKO**
(Don State Technical University)

*Some relations between various auto- and soliton models are investigated. Common features in the problem formulation of combustion, supersonic radiation wave propagation and moving of soliton wave on soundings are revealed. Realization of the known mathematical solutions for wave flame structure characterization in the reciprocating motor grain is proved.*

***Keywords:*** *solitons, flame, combustion, radiation waves, modeling, analogy.*

УДК 338+504

# К ВОПРОСУ ОБ ОСОБЕННОСТЯХ ПЕРЕХОДА РОССИЙСКОЙ ЭКОНОМИКИ К УСТОЙЧИВОМУ РАЗВИТИЮ*

**В.Н. КУРДЮКОВ**
(Донской государственный технический университет)

*Рассмотрены проблемы российской экономики в ракурсе перехода к устойчивому развитию. Приведены условия обеспечения устойчивого развития.*
***Ключевые слова:*** *устойчивое развитие, охрана окружающей среды.*

**Введение.** Современная экономическая наука и функционирующая на ее основе хозяйственная система направлены на максимизацию общественного благосостояния, что приводит к увеличению потребления различных благ и вынуждает в качестве основной цели представлять экономический рост. Зачастую социально-экономическое развитие сводится к экономическому росту за счет увеличения потребления ресурсов. В итоге современная экономика как система жизнеобеспечения становится несовместима с устойчивым развитием, объективной основой которого является экологический потенциал. На сегодняшний день в нашей стране сложилась нерациональная система управления: экономическое развитие народного хозяйства осуществляется за счет угнетения природного потенциала (нерациональное природопользование, загрязнение окружающей среды, снижение ассимиляционного потенциала) и основной части социального потенциала в угоду небольшой части населения. Между тем, устойчивое развитие любой территории должно строиться на экологической безопасности без подрыва условий для социально-экономической устойчивости.

**Особенности современной российской экономики.** Декларирование цели устойчивого развития и в то же время отсутствие улучшения качества окружающей среды свидетельствует о неэффективности управления. Использование зарубежного опыта позволяет решить часть управленческих задач, но не исключает проявления специфических территориальных особенностей и возникновения проблем взаимодействия с элементами экономической системы. Например, в некоторых странах проводится экологизация налоговой системы: смещение центра тяжести налоговой нагрузки с фонда оплаты труда, прибыли, имущества на экологически вредную деятельность, с которой связан наибольший ущерб от загрязнения окружающей среды (автотранспорт, энергетика). Однако при этом не решается проблема введения экономической ответственности владельцев автомобилей за нанесенный ими фактический экономический ущерб от негативного влияния на окружающую среду.

В нашей стране «эксперимент» с налогообложением позволил лишь пополнить бюджеты разных уровней, а природоохранная деятельность по-прежнему испытывает недостаток внимания. В итоге поддерживаются диспропорции в экономике, о чем свидетельствуют ее сырьевой уклон, что приводит к зависимости жизнедеятельности на территории страны от зарубежных производителей и фактически угрожает безопасности государства. В этих обстоятельствах основными недостатками действующей системы инструментов экологической политики являются отсутствие четких целевых ориентиров, позволяющих двигаться в направлении устойчивого развития, действенных стимулов для поиска таких ориентиров и эффективной эколого-экономической стратегии регионов.

В рамках рыночной экономики предпочтительной можно считать экономическую мотивацию экологически направленного поведения «участников» негативного влияния на окружающую среду. С одной стороны, такие инструменты, как экологические налоги, рыночные цены на ресурсы (например, топливные) выполняют стимулирующую функцию, а с другой, в условиях монополизированного рынка, попадая в себестоимость конечной продукции, провоцируют рост инфляции. Длительный процесс демонополизации не позволяет сейчас рассчитывать на смену структуры экономики. Порочный круг замкнут на неограниченном загрязнении окружающей среды и неадекватном возмещении наносимого вреда. В результате сегодняшний бизнес в России основан на увеличении количественных показателей потребления (в итоге – природных ресурсов). При этом

* Исследования выполняются по гранту Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых (МК 657.2011-6).

отсутствие изменений качественных характеристик любой деятельности за счет инноваций приводит к дальнейшему снижению конкурентоспособности.

Действующая в стране система экологического нормирования сводится к определению массы выбросов для каждого стационарного источника, которая позволяет достигать предельно допустимую концентрацию загрязнителей на территории. Несоответствие фактических выбросов допустимым предусматривает возможность их согласования (на практике приводит к волевому принятию решений на местном уровне) и платы за загрязнение с повышающим коэффициентом, не привязанным к реальному ущербу. При этом совершенно не учитываются выбросы передвижных источников, что сводит на нет усилия по обеспечению благоприятного качества окружающей среды. В итоге происходит обмен долгосрочной эколого-экономической стабильности на краткосрочную экономическую целесообразность.

Система государственного управления народным хозяйством представляет собой формирование и регулирование условий для использования природного потенциала с целью удовлетворения социально-экономических потребностей. Однако долгосрочная устойчивость социально-экономической системы невозможна без учета объективных экологических ограничений территории (например, ассимиляционный потенциал экосистемы), вовлеченной в процесс жизнедеятельности. Отсутствие адекватного отражения всех аспектов жизнедеятельности в системе управления приводит к эксплуатации и постепенной деградации экологического и социального потенциала территории ради достижения краткосрочных экономических целей. Подобная ситуация формирует условия для использования потенциала территории в угоду другим регионам (например, перенос наиболее грязных производств в экономически менее благополучные районы), некоторым социальным группам (увеличение социального неравенства, способствующего росту социальной напряженности). Пагубность такой системы наглядно проявляется в виде дисбаланса народного хозяйства: пренебрежение экологическими благами неминуемо оказывает негативное влияние, например, на здоровье населения, что отражается в виде увеличения бюджетных расходов на социальную сферу, снижении налоговых поступлений и т. д. В итоге необходимость постоянного повышения бюджетной нагрузки на ликвидацию негативных последствий (фактически вытекающих из сложившейся системы управления) может привести как к гибели всей социально-экономической системы, так и к замене класса управленцев (в том числе насильственную). Своевременная корректировка системы управления позволит остановить деградацию окружающей среды и обеспечить переход к устойчивому развитию.

**Заключение.** При решении комплексных проблем требуется учет системных пробелов территориального управления, построение прозрачных процедур принятия решений на основе обоснованных алгоритмов, направленных на достижение оптимальных последствий. Ущерб от выбросов зависит от оценки затрат на устранение негативных последствий от загрязнения окружающей среды, что так или иначе отражается на экономике страны. Последствия для экономики выражаются в ущербах от повышенной заболеваемости населения, повышенной смертности населения, экономических ущербах в соответствующих отраслях и т. д. и предполагают дополнительную нагрузку на бюджет или ослабление налоговых поступлений. На принятие управленческих решений основное влияние оказывает человеческий фактор, в связи с чем распределение экономической ответственности между участниками загрязнения окружающей среды представляет значительный интерес при формировании теоретико-аналитического инструментария для перехода к устойчивому развитию.

Материал поступил в редакцию 13.07.11.

## REVISITED CHARACTERISTICS OF RUSSIAN ECONOMY TRANSITION TO SUSTAINABILITY

**V.N. KURDYUKOV**
(Don State Technical University)

*Problems of the Russian economy in the perspective of the transition to the sustainable development are considered. Terms of sustainability security are described.*
***Keywords:*** *sustainable development, environmental safety.*

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

**АВАКЯН Арине Арамаисовна,** аспирантка кафедры «Основы проектирования машин» Ростовского государственного университета путей сообщения.
Arina.Avakyan@mail.ru

**АЙЗИКОВИЧ Сергей Михайлович,** доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник, заведующий лабораторией «Функционально-градиентные и композитные материалы» Научно-образовательного центра «Материалы» Донского государственного технического университета.
saizikovich@gmail.com

**БАТАЛЬЩИКОВ Александр Александрович,** кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник Управления научных исследований Донского государственного технического университета.
abatalshikov@gmail.com

**БЕЛОУСОВ Виталий Михайлович,** доктор экономических наук, профессор, заведующий кафедрой «Экономика и региональный менеджмент» Института по переподготовке и повышению квалификации Южного федерального университета.
ippk_economy@mail.ru

**БОГДАНОВА Марина Александровна,** кандидат философских наук, доцент кафедры философии, культурологии и философии науки Педагогического института Южного федерального университета.
maraleks27@mail.ru

**БОГУСЛАВСКАЯ Вера Васильевна,** доктор филологических наук, профессор, заведующая кафедрой «Социогуманитарные науки» Донского государственного технического университета.
boguslavskaya@gmail.com

**БУДАШОВ Игорь Александрович,** ведущий инженер-конструктор Рубцовского проектно-конструкторского технологического института.
budashov_igor@mail.ru

**БУЛЫГИН Юрий Игоревич,** доктор технических наук, профессор кафедры «Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды» Донского государственного технического университета.
bulyur_rostov@mail.ru

**БУТАКОВА Мария Александровна,** доктор технических наук, профессор кафедры «Информатика» Ростовского государственного университета путей сообщения.
butakova@rgups.ru

**ВАСИЛЬЕВ Борис Николаевич,** кандидат технических наук, доцент кафедры «Машины и оборудование нефтегазового комплекса» Донского государственного технического университета.
sanpalych1@gmail.com

**ВОВЧЕНКО Арменак Владимирович,** кандидат технических наук, доцент кафедры «Информационные технологии пластического формоизменения» Донского государственного технического университета.
a_vovchenko@mail.ru

**ГЛАДКОВА Юлия Владимировна,** соискатель кафедры «Организация производства и маркетинг» Донского государственного технического университета.
glad72@yandex.ru

**ГРИШИН Сергей Анатольевич**, кандидат технических наук, доцент кафедры «Инженерная и компьютерная графика» Донского государственного технического университета.
sgrichin@dstu.edy.ru

**ГУДА Александр Николаевич,** доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Информатика», проректор по научной работе и инновациям Ростовского государственного университета путей сообщения.
guda@rgups.ru

**ДУДАКОВА Ирина Анатольевна,** кандидат экономических наук, доцент кафедры «Организация производства и маркетинг» Донского государственного технического университета.
iri-dudakova@yandex.ru

**ДУДКА Виталий Борисович,** начальник вычислительного центра Таганрогского политехнического колледжа (филиала) Донского государственного технического университета.
vittag@mail.ru

**ЗАЙЦЕВА Мария Владиславовна**, ассистент кафедры «Физическое и прикладное материаловедение» Донского государственного технического университета.
zajceva5@rambler.ru

**ИВАНОВ Владимир Юрьевич,** соискатель кафедры «Организация производства и маркетинг» Донского государственного технического университета.
donsnab777@mail.ru

**КИРЕЕВ Сергей Олегович,** доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Машины и оборудование нефтегазового комплекса» Донского государственного технического университета.
kireevso@yandex.ru

**КОРОНЧИК Денис Алексеевич,** техник кафедры «Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды» Донского государственного технического университета.
koronchic@mail.ru

**КРЕНЕВ Леонид Иванович,** кандидат физико-математических наук, доцент кафедры «Информационные технологии» Донского государственного технического университета.
lkrenev@yandex.ru

**КУДИНОВ Никита Валерьевич,** кандидат технических наук, доцент кафедры «Программное обеспечение вычислительной техники и автоматизированных систем» Донского государственного технического университета.
nikudinov@gmail.com

**КУРДЮКОВ Владимир Николаевич,** кандидат экономических наук, старший преподаватель кафедры «Экономика и менеджмент в машиностроении» Донского государственного технического университета.
kurdvn@mail.ru

**ЛАДОША Евгений Николаевич,** кандидат технических наук, доцент, докторант кафедры «Сопротивление материалов» Донского государственного технического университета.
ladoscha@mail.ru

**ЛЕБЕДЕВ Валерий Александрович,** кандидат технических наук, профессор кафедры «Технология машиностроения» Донского государственного технического университета.
va.lebidev@yandex.ru

**ЛИТВИНОВ Артем Евгеньевич,** аспирант кафедры «Технологическое оборудование» Донского государственного технического университета.
Arina.Avakyan@mail.ru

**МАСЛОВ Евгений Игоревич,** аспирант кафедры «Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды» Донского государственного технического университета.
evgeniy-maslow@yandex.ru

**МЕСХИ Бесарион Чохоевич,** доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды», ректор Донского государственного технического университета.
reception@dstu.edu.ru

**МОЛЧАНОВ Александр Алексеевич,** аспирант кафедры «Прикладная математика» Донского государственного технического университета.
aa_molchanov@mail.ru

**МОРОЗКИН Игорь Сергеевич,** доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Технология металлов» Ростовского государственного университета путей сообщения.
mis_tm@mail.ru

**НЕМОВА Алла Викторовна,** кандидат экономических наук, доцент кафедры «Организация производства и маркетинг» Донского государственного технического университета.
nemova_a.v@mail.ru

**ОВАНЕСЯН Наталья Матвеевна,** доктор экономических наук, доцент, заведующая кафедрой «Инженерная экономика и маркетинг» Донского государственного технического университета.
nat.ovanesyan@yandex.ru

**ПАДАЛКО Александр Павлович,** кандидат технических наук, доцент кафедры «Основы конструирования машин» Южно-Российского государственного технического университета.
sanpalych1@gmail.com

**ПЕТРЕНКОВА Софья Борисовна,** старший преподаватель кафедры «Математика» Донского государственного технического университета.
sonyasobol@rambler.ru

**ПОЖАРСКИЙ Дмитрий Александрович,** доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой «Прикладная математика» Донского государственного технического университета.
pozharda@rambler.ru

**ПОЛУШКИН Олег Олегович,** кандидат технических наук, докторант кафедры «Теория механизмов и машин» Донского государственного технического университета.
grunt@mail.ru

**ПУСТОВОЙТ Виктор Николаевич,** доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки, заведующий кафедрой «Физическое и прикладное материаловедение» Донского государственного технического университета.
fipm-dstu@mail.ru

**РЕЖАБЕК Евгений Ярославович**, доктор философских наук, профессор кафедры исторической культурологии факультета «Философия и культурология» Южного федерального университета.
rejabek@mail.ru

**СОЛОВЬЁВ Аркадий Николаевич,** доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой «Сопротивление материалов» Донского государственного технического университета.
soloviev@math.rsu.ru

**СТУКОПИН Владимир Алексеевич,** кандидат физико-математических наук, доцент кафедры «Прикладная математика» Донского государственного технического университета.
stukopin@mail.ru

**ТИТОРЕНКО Александр Иванович,** аспирант кафедры «Гидротехнические сооружения» Новочеркасской государственной мелиоративной академии.
titorenco61ru@mail.ru

**ФОКЕЕВ Александр Константинович,** кандидат технических наук, доцент, заместитель директора по учебной работе Рубцовского индустриального института (филиала) Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова.
fokeev@inst.rubtsovsk.ru

**ХАНДОЖКО Роман Игоревич**, кандидат исторических наук, старший преподаватель кафедры «Социогуманитарные науки» Донского государственного технического университета.
ro.khan.man@gmail.com

**ЦЫМБАЛОВ Денис Сергеевич,** аспирант кафедры «Прикладная математика» Донского государственного технического университета.
den_constructor@mail.ru

**ЧУБЕЙКО Сергей Валерьевич,** аспирант кафедры «Информатика» Ростовского государственного университета путей сообщения.
greyc@mail.ru

**ЯЦЕНКО Олег Вадимович,** кандидат физико-математических наук, доцент кафедры «Прикладная математика» Донского государственного технического университета.
oleg_v_yatcenko@mail.ru

**INDEX**

**AVAKYAN, Arine A.**, postgraduate student of the Machine Design Basis Department, Rostov State Transport University.
Arina.Avakyan@mail.ru

**AIZIKOVICH, Sergey M.,** PhD in Physics and Maths, senior research scholar, head of the Functionally Gradient and Composite Materials Laboratory, REC 'Materials', Don State Technical University.
saizikovich@gmail.com

**BATALSHCHIKOV, Aleksander A.**, Candidate of Science in Physics and Maths, senior research scholar of the Scientific Research Department, Don State Technical University.
abatalshikov@gmail.com

**BELOUSOV, Vitaly M.,** PhD in Economics, professor, head of the Economics and Regional Management Department, Institute of Advanced Training and Excellence, Southern Federal University.
ippk_economy@mail.ru

**BOGDANOVA, Marina A.**, Candidate of Science in Philosophy, associate professor of the Philosophy, Culture Studies and Philosophy of Science Department, Pedagogical Institute, Southern Federal University.
maraleks27@mail.ru

**BOGUSLAVSKAYA, Vera V.,** PhD in Linguistics, professor, head of the Social Studies and Humanities Department, Don State Technical University.
boguslavskaya@gmail.com

**BUDASHOV, Igor A.**, senior design engineer, Rubtsovsk Design-and-Engineering Institute of Technology.
budashov_igor@mail.ru

**BULYGIN, Yury I.,** PhD in Science, professor of the Life Safety and Environment Protection Sciences Department, Don State Technical University.
bulyur_rostov@mail.ru

**BUTAKOVA, Maria A.**, PhD in Science, professor of the Informatics Department, Rostov State Transport University.
butakova@rgups.ru
**CHUBEIKO, Sergey V.,** postgraduate student of the Informatics Department, Rostov State Transport University.
greyc@mail.ru

**DUDAKOVA, Irina A.,** Candidate of Science in Economics, associate professor of the Industrial Engineering and Management, Don State Technical University.
iri-dudakova@yandex.ru

**DUDKA, Vitaly B.,** head of the computer centre, Taganrog Polytechnic College, DSTU branch.
vittag@mail.ru

**FOKEYEV, Alexander K**., Candidate of Science in Engineering, associate professor, associate director on academic affairs, Rubtsovsk Industrial Institute, branch of I.I. Polzunov Altay State Technical University.
fokeev@inst.rubtsovsk.ru

**GLADKOVA, Yulia V**., Ed.D. Candidate in Economics of the Industrial Engineering and Management Department, Don State Technical University.
glad72@yandex.ru

**GRISHIN, Sergey A**., Candidate of Science in Engineering, associate professor of the Engineering and Computer Graphics Department, Don State Technical University.
sgrichin@dstu.edy.ru

**GUDA, Alexander N.,** PhD in Science, professor, head of the Informatics Department, Vice-president for Research and Innovations, Rostov State Transport University.
guda@rgups.ru

**IVANOV, Vladimir Y.,** Ed.D. Candidate of the Industrial Engineering and Marketing Department, Don State Technical University.
donsnab777@mail.ru

**KHANDOZHKO, Roman I.,** Candidate of Science in History, senior lecturer of the Social Studies and Humanities Department, Don State Technical University.

**KIREYEV, Sergey O**., PhD in Science, professor, head of the Machinery and Equipment for Oil and Gas Complex Department, Don State Technical University.
kireevso@yandex.ru

**KORONCHIK, Denis A.,** technician of the Life Safety and Environment Protection Sciences Department, Don State Technical University.
koronchic@mail.ru

**KRENEV, Leonid I**., Candidate of Science in Physics and Maths, associate professor of the Information Technologies Department, Don State Technical University.
lkrenev@yandex.ru

**KUDINOV, Nikita V.,** Candidate of Science in Engineering, associate professor of the Computer Software and Automated Systems Department, Don State Technical University.
nikudinov@gmail.com

**KURDYUKOV, Vladimir N.,** Candidate of Science in Economics, senior lecturer of the Economy and Management in Mechanical Engineering Department, Don State Technical University.
kurdvn@mail.ru

**LADOSHA, Evgeny N.,** Candidate of Science in Engineering, associate professor, postdoctoral student of the Strength of Materials Department, Don State Technical University.
ladoscha@mail.ru

**REZHABEK, Evgeny Y.,** PhD in Philosophy, professor of the Department of Philosophy and Cultural Studies, Southern Federal University.
rejabek@mail.ru

**SOLOVYEV, Arkady N.**, PhD in Physics and Maths, professor, head of the Strength of Materials Department, Don State Technical University.
soloviev@math.rsu.ru

**STUKOPIN, Vladimir A.,** Candidate of Science in Physics and Maths, associate professor of the Applied Mathematics Department, Don State Technical University.
stukopin@mail.ru

**TITORENKO, Alexander I.,** postgraduate student of the Hydraulic Engineering Constructions Department, Novocherkassk State Reclamation Academy.
titorenco61ru@mail.ru

**TSYMBALOV, Denis S.,** postgraduate student of the Applied Mathematics Department, Don State Technical University.
den_constructor@mail.ru

**VASILYEV, Boris N.,** Candidate of Science in Engineering, associate professor of the Machinery and Equipment for Oil and Gas Complex Department, Don State Technical University.
sanpalych1@gmail.com

**VOVCHENKO, Armenak V.,** Candidate of Science in Engineering, associate professor of the Information Technologies of Plastic Forming Department, Don State Technical University.
a_vovchenko@mail.ru

**YATSENKO, Oleg V.,** Candidate of Science in Physics and Maths, associate professor of the Applied Mathematics Department, Don State Technical University.
oleg_v_yatcenko@mail.ru

**ZAITSEVA, Maria V.,** teaching assistant of the Material Physics and Applied Hylology Department, Don State Technical University.
zajceva5@rambler.ru

# ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЕЙ

1. Статья должна быть представлена в распечатанном виде и на магнитном носителе в электронной версии с расширением doc. Шрифт Times New Roman. Кегль - 14. Межстрочный интервал для текста - 1,5. Бумага белая форматом А4.

2. В начале статьи в левом верхнем углу ставится индекс УДК. Далее на первой странице данные идут в такой последовательности: полное название статьи; инициалы и фамилии авторов, место работы; аннотация (max 400 символов, включая пробелы); ключевые слова (max 150 символов). Затем идет текст самой статьи, библиографический список, сведения об авторах (ФИО, научная степень, звание, должность и место работы, e-mail).

3. Дополнительно к статье должны быть представлены следующие материалы на английском языке: ФИО авторов, полное название статьи, аннотация (полная аналогия русской версии), ключевые слова, сведения об авторах.

4. Статья должна предусматривать разделы: введение (постановка задачи), основную часть (подзаголовки), выводы или заключение.

5. Объем статьи не должен превышать 16 страниц машинописного текста, 5 рисунков или фотографий; обзора - 25 страниц, 10 рисунков; краткого сообщения - не более 3 страниц, 2 рисунков.

6. Иллюстрации (рисунки, графики) должны быть расположены в тексте статьи и выполнены в одном из графических редакторов (формат tif, pcc, jpg, pcd, msp, dib, cdr, cgm, eps, wmf). Каждый рисунок должен иметь подпись. Рисунки должны иметь контрастное изображение. Таблицы располагаются непосредственно в тексте статьи. Каждая таблица должна иметь заголовок. Формулы и буквенные обозначения величин должны быть набраны в формульном редакторе MS Word.

7. Размерность физических величин, используемых в статье, должна соответствовать Международной системе единиц (СИ). Не следует употреблять сокращенных слов, кроме общепринятых (т.е., и т.д., и т.п.).

8. Библиографический список должен включать: фамилию и инициалы автора, название статьи, название журнала, том, год, номер или выпуск, страницы, а для книг - фамилию и инициалы автора, название книги, место издания (город), издательство, год издания, количество страниц.

9. При представлении материала на рассмотрение в редакцию необходимо наличие внешней рецензии, подписанной специалистом, имеющим ученую степень доктора наук (обязательно заверенной в отделе кадров по месту работы рецензента). К статьям аспирантов и соискателей необходимо приложить отзыв научного руководителя. Для авторов, не являющихся сотрудниками ДГТУ, необходима рекомендация на имя главного редактора, подписанная научным руководителем автора (для соискателей ученой степени) или руководителем подразделения (обязательно заверенная печатью).

10. Редколлегия оставляет за собой право производить редакционные изменения, не искажающие основное содержание статьи.

11. Статьи, не отвечающие правилам оформления, к рассмотрению не принимаются, рукописи и магнитные носители авторам не возвращаются. Датой поступления считается день получения редколлегией окончательного текста статьи.

12. Плата с аспирантов за публикацию рукописей не взимается.

Более подробно с правилами оформления можно ознакомиться на сайте журнала "Вестник ДГТУ" по адресу http://vestnik.dstu.edu.ru